

notiocreto

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN



ASOCCEM
ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO



**PROTECCIÓN DE UN MONUMENTO
EMBLEMÁTICO: REFUERZO,
REHABILITACIÓN Y RESTAURACIÓN
DE LA CATEDRAL DE MANIZALES**

**REFUERZO ESTRUCTURAL:
CONCRETO CON FIBRA DE ULTRA ALTO
RENDIMIENTO**

**REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL:
UNA VISIÓN DESDE LA CULTURA
ALEMANA**

UNA PUBLICACIÓN DE

Asocreto
Colombia



PERÚ s/. 30

ISSN 0120-8489

EDICIÓN ESPECIAL

Rehabilitación de estructuras de concreto

Rapimix

¡SOLUCIONES EMBOLSADAS
LISTAS PARA USAR!



70%

**MENOS
ESPACIO
OCUPADO**

20%

**MAYOR
AVANCE**

20%

**MAYOR
RENDIMIENTO**

MÁS RÁPIDO, MÁS PRÁCTICO MÁS AHORRO



Mayor plasticidad y
trabajabilidad.



Menor requerimiento
de mano de obra.



Mayor orden y
limpieza.



PONTE EN CONTACTO CON NOSOTROS:

☎ 0800-1-34666 🌐 cementospacasmayo.com

📱 Descarga el App Pacasmayo Profesional en



**PACASMAYO
PROFESIONAL**

Noticreto 10

SEPTIEMBRE - OCTUBRE DE 2019

NUESTRA PORTADACatedral Basílica de Nuestra Señora del Rosario. Manizales.
Foto: Shutterstock - Danaan**DIRECTOR ASOCCEM**

Carlos Ferraro

COMITÉ EDITORIAL

Susana Kroll, Leslie Saavedra y Asocreto

COORDINACIÓN EDITORIAL
PRODUCCIÓN GRÁFICA
DISEÑO EDITORIAL
Y CORRECCIÓN DE ESTILO**COLABORADORES**

Marcela Albornoz, Diego Andrés Castiblanco, Amanda Contreras, Cristian Chamucero, Verónica Echeverry A., Andrés Escobar Uribe, Joan Pau Fontrodona, Luis Ignacio Franco, Juan Antonio García Gonzalez, Lina Gaviria, Jaime Gomezjurado, Jose Luis Guijarro Irene, Diego Jaramillo, Luz Rocío Lamprea O., Manuel A. Lascarro, Sandra López, Gloria Mancera, Stephanie Martínez, Giancarlo Mazzanti, Andrés Mesa, Roy Montes, Sebastián Negret, Mónica Ocampo, Miguel Olier, Andrés Ortiz, Luis Alfonso Ortiz M., Carlos Palomino, Fredy Pantoja, Nicolás Parra G., Luis Guillermo Peláez, Alejandro Restrepo, Jorge A. Rodríguez, Sonia Rodríguez, Martha Toro, Raul Talavera Manso, Andrés Uribe, Stephanny Valderrama, Hernando Vargas Caicedo, Luis Carlos Velásquez Cardona, Jaume Vila Gómez y Jorge Yañez Rocha.

PREPrensa E IMPRESIÓN

LETTERA GRÁFICA

SUSCRIPCIONES

s.kroll@asocem.org.pe



Av. Juan de Aliaga 425 Of. 510 Magdalena del Mar

Teléfonos: (+511) 281 8177

Correo: s.kroll@asocem.org.pe

www.asocem.org.pe

18



PYHERE

La información, conceptos u opiniones expresados en esta publicación, tanto en los artículos como en las pautas publicitarias, y el uso que se haga de ellos, no representan responsabilidad alguna para Asocreto, Noticreto o Asocem, ni para el autor o su empresa. La información y conceptos deben ser utilizados por las personas interesadas bajo su criterio y responsabilidad. Sin embargo, se entiende que cualquier divergencia con lo publicado constituye un interés para Asocreto y Asocem, por lo cual se agradecerá el envío de las correspondientes sugerencias. Asocreto y Asocem no asumen ningún tipo de responsabilidad por la información que divulguen los anunciantes a través de Noticreto, y por tanto cualquier reclamación relacionada con la calidad, idoneidad y seguridad de los bienes y servicios anunciados en la revista, deberán ser atendidos con cada productor o distribuidor, según corresponda, quedando por tanto Asocreto y Asocem liberados de cualquier responsabilidad que pueda derivarse por causa y/o efecto de la información que se suministre en Noticreto.

La reproducción total o parcial de los artículos de la revista se podrá realizar únicamente con previa autorización escrita de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO y la Asociación de Productores de Cemento - ASOCCEM, citando fuentes, edición y fecha de publicación. Las imágenes tablas y esquemas suministrados por los autores de artículos han sido autorizados por ellos para ser incluidos en la revista.

Publicación de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO bajo contrato con la Asociación de Productores de Cemento - ASOCCEM con carácter técnico e informativo para el sector de la construcción. Resolución Ministerio de Gobierno 00590 del 3 de marzo de 1987 - ISSN 0120-8489. Costo unitario de la revista en Perú s/.30 y en Colombia COP\$18.000 Para información sobre suscripciones comuníquese directamente con ASOCCEM.



CARTA EDITORIAL

- 7** El concreto en la historia de la construcción en el Perú
Carlos Ferraro

HISTORIA

- 8** Protección de un monumento emblemático: Refuerzo, rehabilitación y restauración de la Catedral de Manizales
Omar Darío Cardona Arboleda
Samuel Darío Prieto Ramírez

INTERNACIONAL

- 14** Rehabilitación estructural: Una visión desde la cultura alemana
Juan Mauricio Lozano

GERENCIA

- 18** Gerencia de proyectos: Gestión para el mantenimiento de las obras
Luis Alberto Chaves

SUPERVISIÓN

- 22** Cómo supervisar obras de rehabilitación
Jairo Niño

MATERIALES

- 26** Consideraciones técnicas. Morteros de reparación de alta especificación
Gustavo Rincón
- 30** Desde la normativa: Reforzamiento estructural con fibra de carbono
Jorge Rendón
Juan Gerardo Ramírez

PREFABRICADOS

- 36** Mantenimiento y recuperación de pisos con adoquines de concreto
Luis Alfonso Ortiz

ARTE EN CONCRETO

- 40** Planta de cemento con arquitectura
Kirchdorfer Zementwerk Kirchdorf

DISEÑO

- 42** Refuerzo estructural: Concreto con fibra de ultra alto rendimiento
Adriano Reggia
Giovanni A. Plizzari

PAVIMENTOS

- 46** Experiencias en Latinoamérica. Rehabilitación de pavimentos de concreto con *Diamond Grinding*
Gabriela Eguiluz

PATOLOGÍA

- 48** Ensayos para evaluar el estado de una estructura en concreto
Sandra Reinaguerra

CIMENTACIONES

- 52** Monitoreo y rehabilitación de estructuras en concreto afectadas por asentamientos en Bogotá
Francisco Salazar F.

ARQUITECTURA

- 58** ¿Cómo enfrentar una obra de restauración?
Claudia Guerrero

RESPONSABILIDAD SOCIAL

- 60** Transformando ambientes y vidas entre todos
Gerencia de Sostenibilidad. Cementos Argos

REPORTAJE

- 62** Alberto Escovar Wilson-White: La defensa del patrimonio cultural es cada vez más importante

NOVEDADES

EVENTOS

HUMOR

CAROLINA EN LA OBRA



62



La Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM es una entidad gremial representativa de la Industria de cemento y productos derivados, en el Perú, cuya finalidad es la promoción, desarrollo y protección de la industria del cemento y derivados, para contribuir con el desarrollo del país.



Av. Juan de Aliaga 425 Of. 510 Magdalena del Mar
Teléfonos: (+511) 281 8177
Correo: s.kroll@asocem.org.pe
www.asocem.org.pe

Nota editorial



El concreto en la historia de la construcción en el Perú

Estimados lectores,

La estrecha relación de la historia de la humanidad con el concreto es sencilla de entender y vincular con la realidad. Sin embargo, en el caso del Perú, nuestra historia está más relacionada con edificios e instalaciones construidas con adobe, piedra, con técnicas aún desconocidas para el hombre de hoy; edificaron y construyeron acueductos, sistemas de riego y de cultivo que siguen sorprendiéndonos y perduran en el tiempo. Nuestros antepasados no conocían el concreto y otros materiales similares.

Con la modernidad (inicios del siglo XX) se inicia la etapa de construcción de concreto armado en Lima y las principales ciudades de la costa del Perú. Gracias a sus características y diseño, hay edificaciones que perduran hasta la actualidad. Así, por ejemplo, muchos edificios del Centro de Lima han resistido frente a diversos fenómenos naturales como terremotos y sismos de fuerte intensidad, y otras edificaciones en el norte del país han soportado lluvias e inundaciones como efecto de la corriente de El Niño.

En este contexto, es importante recordar las primeras vías pavimentadas de concreto en el Perú, como la Av. Venezuela, inaugurada en 1921, así como otras en la ciudad de Lima que tienen más de 70 años y no han requerido importantes reparaciones ni mantenimiento.

Las edificaciones se diseñan con visión de futuro, teniendo en cuenta su durabilidad y usando tecnología y materiales innovadores y de calidad, pues, recordemos, se construyen para “toda la vida” y en ello se compromete el patrimonio y la seguridad de las personas.

Por otra parte, el cambio climático es una realidad que afecta a todo el globo. Por ello, desde la industria del cemento y concreto, en nuestro país se trabaja con nuevos materiales y procesos que cumplen con los criterios de sostenibilidad, resistencia y calidad para, entre otros propósitos, reducir las emisiones de CO₂.

Para lograr que los diversos tipos de construcción, tanto pública como privada, perduren en el tiempo, esta industria tiene el enorme reto y oportunidad de contribuir a enfrentar de diversas maneras la informalidad en el proceso constructivo, fomentar uso de materiales de primera calidad, cumplir las normas técnicas y contribuir con una mejor calidad de vida para todos.

Trabajemos unidos para lograr que los materiales que proveemos hoy contribuyan con el desarrollo de nuestro Perú del mañana.

Carlos Ferraro Rey

Director Ejecutivo

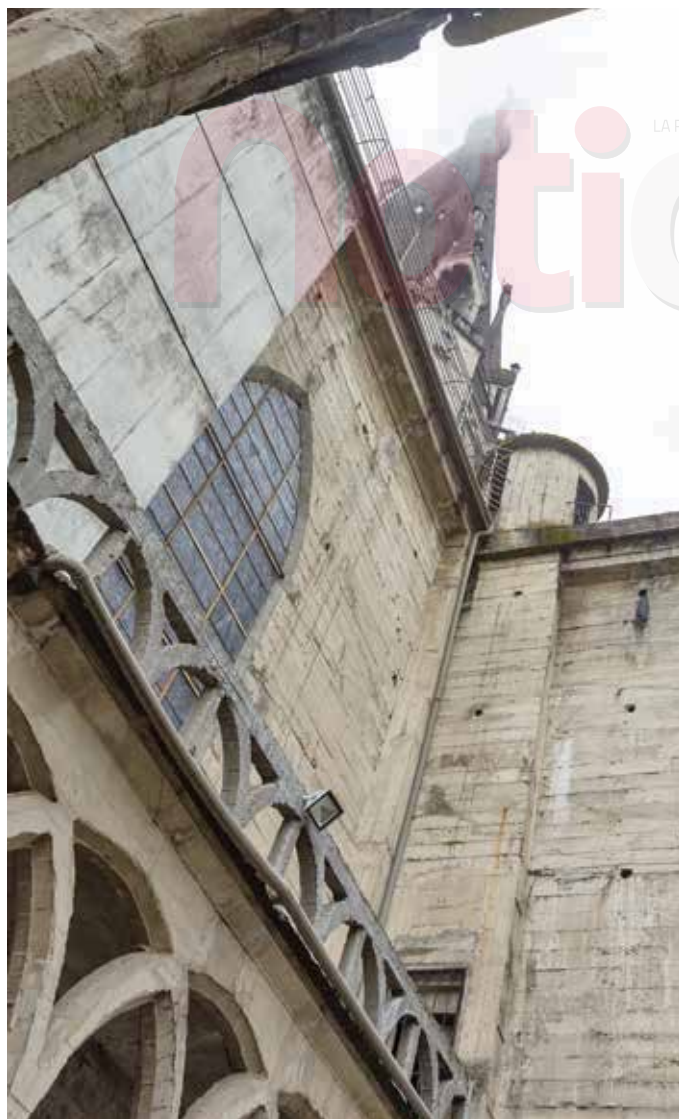
Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM



Protección de un monumento emblemático: Refuerzo, rehabilitación y restauración de la Catedral de Manizales

Omar Darío Cardona Arboleda
Samuel Darío Prieto Ramírez (1949 - 2016)

Fotos: Cortesía Omar Darío Cardona Arboleda y Samuel Darío Prieto Ramírez



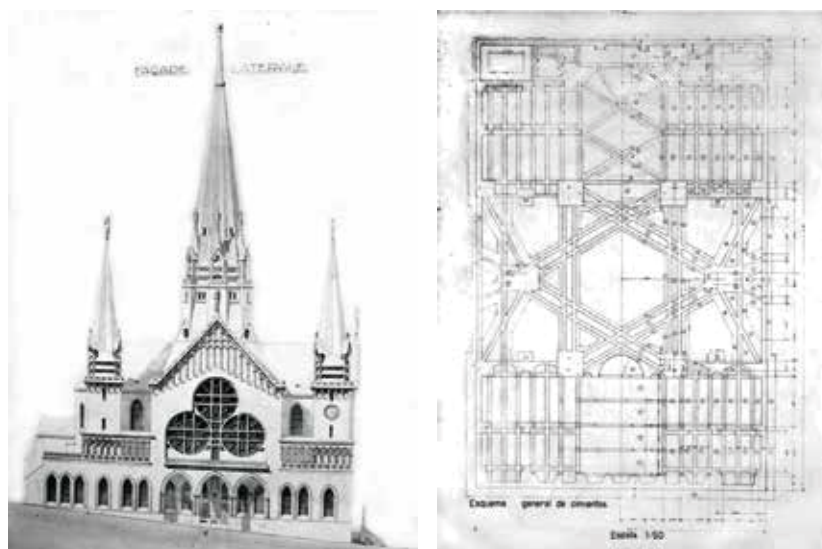
↑ Foto 1. Catedral Basílica de Nuestra Señora del Rosario. Manizales.

La Catedral Basílica de Nuestra Señora del Rosario de Manizales, obra maestra de la arquitectura colombiana en

concreto, cumplió en 2018 noventa años desde cuando se colocó la primera piedra. Durante ese lapso ha soportado sismos de importante intensidad (1938, 1961, 1962 y 1979) que han comprometido gravemente su estructura. El terremoto de 1962 produjo una destrucción parcial y el colapso de la torre noroeste y el de 1979 –aunque las torres esquineras ya habían sido reparadas con estructuras metálicas por el sismo anterior– sufrió graves daños en sus muros principales y presentó agrietamientos severos en diferentes áreas. El templo fue pensado originalmente como invulnerable, pero realmente no lo era y exigió nuevos refuerzos estructurales e intervenciones proyectadas para veinte años después, que se han ido realizando durante las dos siguientes décadas del nuevo milenio. Una nueva generación de manizaleños tendría que estudiar el caso a fondo y proponer para el templo de 113 metros de altura, una serie de intervenciones que incluyan reforzamiento sísmico, tratamiento de sus materiales y demás procedimientos necesarios para su protección de acuerdo con el avance del estado del arte de la ingeniería sísmica, el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado.

Emblema de una cultura sísmica local

La Catedral Basílica de Nuestra Señora del Rosario fue declarada Monumento Nacional en 1984 y es en la actualidad un bien de interés del ámbito nacional, símbolo de la cultura del paisaje cafetero. Sus antecedentes representan la evolución e innovación de la técnica, la ciencia y la cultura, inmersas en un contexto caracterizado por desastres y riesgo frente a eventos intensos. Aunque la madera rolliza y la guadua habían sido utilizadas por el pueblo Quimbaya y desde el neolítico en el período precolombino, la posibilidad de moldear paredes de tierra utilizando tapia y adobe como resultado del proceso de colonización y siguiendo el canon europeo procedente de España, entró a formar parte de las opciones constructivas. Lo flexible le dio paso a lo rígido y frágil en la búsqueda de estatus con el aumento del espesor de los muros. Así, entre 1854 y 1869 se construyó un templo de tapia pisada que reemplazó



la primera capilla techada en paja. Después de la fundación de Manizales, la iglesia construida con el esplendor de este rígido material, dos torres laterales y un campanario central, significó el advenimiento de un nuevo, pero frágil paradigma constructivo ante la acción de los terremotos. En 1875 el fuerte sismo que destruyó a Cúcuta tuvo también efectos en la región cafetera. La iglesia se agrietó de manera importante, al igual que otras casas de tapia y adobe que se habían construido con la misma técnica. Posteriormente, estos daños se incrementaron a causa de los sismos que se presentaron en 1878, 1884 y 1885. El templo de tapia y adobe se reparó varias veces y, sin embargo, los últimos sismos afectaron gravemente su fachada. Resultado de la observación y la conciencia de los habitantes de la región sobre las posibles consecuencias de los sismos sobre las edificaciones de tapia y adobe, la comunidad no sólo tomó la decisión de demoler el templo, sino de explorar nuevas combinaciones y técnicas constructivas más apropiadas para la ciudad. Denominaron a estas técnicas constructivas “el estilo temblorero”.

La demolición del templo de tapia pisada no fue una solución aislada frente al problema de vulnerabilidad sísmica. Observando el redescubrimiento de las técnicas empíricas sismorresistentes del “estilo temblorero” aplicadas en las fincas cafeteras y el centro urbano, el arquitecto bogotano Mariano Santamaría propuso un nuevo diseño para la iglesia que aprovecharía las ventajas del bahareque¹ de la región. La madera y la guadua de la zona serían las encargadas de adoptar las formas de un templo que se debía ajustar a las peculiaridades naturales de este nuevo paisaje, diseño que se llevó a la realidad con su construcción entre 1888 y 1897. En los años 20 del siglo pasado, la novedosa pero precaria red eléctrica fue la causa de cortos circuitos e incendios

↑ Foto 2. Planos originales de la Catedral restaurados y utilizados para la modelación estructural.

que en 1925 significaron la destrucción del centro de la ciudad, cuando decenas de manzanas fueron consumidas por el fuego, haciendo que el flexible bahareque cayera en desprestigio a causa de su vulnerabilidad frente al fuego. En 1926, la Catedral de madera y dos manzanas más, que no habían sido afectadas previamente, sufrieron la acción de un nuevo incendio, completándose así un escenario de desastre que ya no fue originado por fuerzas de la naturaleza.

Esta situación hizo preciso repensar sobre el riesgo latente, sus diferentes orígenes y la posibilidad de explorar nuevas alternativas basadas en la introducción mundial del entonces recientemente conocido cemento portland. En medio de la controversia acerca del nivel de protección ante los sismos y el fuego, el bahareque encementado terminó sustituyendo al antiguo bahareque y desterró definitivamente la tapia y el adobe de la ciudad. El paisaje cultural del bahareque rural evolucionó hacia un bahareque único y moderno a nivel urbano, resultado de la adaptación y la peculiar conciencia sobre el riesgo en Manizales. Bajo la denominación de cemento armado en ese momento, la tecnología del concreto se convirtió también en una atractiva innovación y una aparente alternativa legítima para construir la nueva Catedral de Manizales, que en principio debería ser inmune a los incendios y a los terremotos. Angelo Papio & Jean Carlo Bonarda, ingenieros italianos residentes de Manizales en aquella época, que serían los constructores del nuevo templo, describieron el sistema constructivo propuesto por el arquitecto francés Julien Auguste Polti, ganador del concurso internacional en París de la nueva Catedral de Manizales, de la siguiente forma:

“El tipo de construcción que utilizamos es el monolítico de cemento armado en toda su estructura, ya que ofrece absolutas garantías de resistencia sísmica y contra incendio. Este sistema es el adoptado en países donde los temblores son frecuentes, no sólo por la estructura, sino también debido a que las paredes entran a jugar un papel importante en la resistencia contra los esfuerzos y movimientos debidos al temblor. Este tipo de construcción conviene al suelo de Manizales perfectamente, más aún, siendo el más indicado”.

La nueva Catedral Basílica de Manizales, en “cemento armado”, se convirtió en el emblema de una cultura sísmica local, que se desarrolló con la curiosa evolución del “estilo temblorero” que sería la técnica predominante con la cual la ciudad desarrolló su “Arquitectura Republicana”. La nueva Catedral significó, por sí misma, una peculiar innovación en ese singular proceso, al ser la primera edificación masiva de concreto reforzado que se construyó en la región del paisaje cultural cafetero y en el país.

1: Sistema de construcción de viviendas a partir de palos, cañas o bambú entretejidos y recubiertos de barro, tablas, zinc o cemento.



Foto 3. Modelación de la Catedral.

Diagnóstico y diseño de las intervenciones^a

La nueva Catedral Basílica de Manizales, construida en concreto reforzado y de estilo “eclectico neogótico”, se terminó en 1939. Enfrentó su primer terremoto en 1938, cuando aún no había sido construida su aguja central, y durante las siguientes décadas hasta terminar el siglo XX su estructura sufrió la acción de otros sismos que la afectaron notablemente. Aunque se le hicieron refuerzos, reparaciones y se reconstruyó la torre que había colapsado en 1962, anticipadamente se concluyó —como resultado de un estudio y una intervención preventiva y cuidadosa que preservara el monumento hacia el futuro— que su conservación dependía del grado de protección sismorresistente que se le pudiera suministrar. Los sismos de 1962 y 1979 habían causado graves daños, el estado de la catedral era crítico y su permanencia dependía de intervenciones acertadas y en el menor tiempo posible; incluso un sismo moderado, como los que ocurren con cierta frecuencia en la región, podía comprometer la estabilidad parcial o total del monumento. Por esta razón, y a solicitud de la Gobernación de Caldas, a mediados de la década de los 90 y con el apoyo de la Subdirección de Monumentos del Instituto Nacional de Vías (hoy Dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura), entre 1997 y 1999 se realizaron los estudios para la rehabilitación sismorresistente de la Catedral, con el fin de proteger este singular templo declarado Monumento Nacional en 1984. Dichos estudios fueron realizados por un amplio grupo de expertos, de acuerdo con el estado del arte, con el objetivo de realizar un diagnóstico detallado de las condiciones de vulnerabilidad sísmica estructural y de cómo se podía aportar mayor capacidad al monumento en términos de rigidez, resistencia y disipación de energía ante la acción sísmica.

El programa se inició con un levantamiento detallado y la elaboración del modelo virtual de la Catedral, con el fin de verificar los planos originales

de Polti, varios de los cuales habían sido restaurados por el Fondo Cultural Cafetero (Foto 2). Los planos ofrecieron una base invaluable para la etapa de levantamiento geométrico, aunque la información allí contemplada no correspondiera exactamente con las dimensiones reales del edificio. Sobre el modelo virtual se hicieron la discretización tridimensional del templo y el análisis de su comportamiento estructural con el uso de programas de cómputo basados en elementos finitos. Teniendo en cuenta las propiedades dinámicas de los suelos, acelerogramas factibles y espectros de respuesta sísmica para diferentes periodos de vibración en el sitio, se modeló y evaluó la respuesta dinámica de la estructura, considerando las características y el estado de los materiales en cuanto a su resistencia y su patología. Para esto fue necesario tomar un amplio número de muestras que permitieron evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural y diseñar el reforzamiento sismorresistente de tal forma que se pudiera verificar el beneficio que estos refuerzos tendrían en la estructura, evitando causar intervenciones invasivas excesivas y conservando la autenticidad del templo.

Inicialmente, y con la aplicación de un modelo de comportamiento elástico, la definición de un patrón de agrietamiento simulado por sismos previos y la obtención del análisis con vibraciones ambientales, se valoró el comportamiento inelástico de la estructura. Este análisis permitió determinar las principales deficiencias y debilidades del templo ante la acción sísmica, pudiendo determinar los esfuerzos en toda la estructura y, por lo tanto, en los sitios críticos o que podrían ser insuficientes para atender las acciones sísmicas más severas. Se llevó a cabo un estudio de interacción suelo-estructura con el fin de estimar cómo se ampliaría el período de vibración de la edificación y cómo se relajaría su comportamiento. Los resultados indicaron que los muros de la catedral se habían fisurado o agrietado en sismos anteriores debido a que actuaban, en la práctica, en forma desacoplada. Los agrietamientos se habían presentado precisamente porque no existía la capacidad en los muros de la estructura para moverse monolíticamente como un solo conjunto y en su mayoría por su insuficiencia para soportar esfuerzos de cortante. Por otro lado, dado que la cimentación era un sistema de nervaduras, algunas poco rígidas por sus acartelamientos, se podría generar ante la acción sísmica una rotación de los muros por falta de empotramiento. Este tipo de situación, muy desfavorable, explicaba el desacople de los muros y sus agrietamientos, exigiendo corrección inmediata. Por esta razón se concluyó que era fundamental reforzar la capacidad de los muros existentes con elementos estructurales competentes que mejoraran la resistencia y la capacidad de disipación de energía de la estructura

y realizar a la vez una nueva cimentación que garantizara su debido empotramiento en la base.

También se detectó que la aguja central inducía esfuerzos notables en su base cuando vibraba ante la acción de un sismo. Dado que existía un lugar cerca de su base donde la placa plegada que conforma la torre se apoyaba en un grupo de pilares cuyo refuerzo era insuficiente para absorber los esfuerzos de tracción, se consideró que esta era una zona crítica y tendría que ser reforzada. Finalmente, se pudo ratificar que las torres o agujas esquineras que habían sido reforzadas después del sismo de 1962 con una estructura metálica interior no estaban debidamente ancladas y ofrecían alta posibilidad de inestabilidad en caso de un sismo severo. Por esta razón se consideró pertinente llevar a cabo una intervención que garantizara mayor estabilidad y anclaje a la cimentación. Una descripción resumida de este análisis de vulnerabilidad y diseño del reforzamiento estructural fue publicada en la edición 55 de Noticreto (abril-junio de 2000)².

Refuerzo estructural sismorresistente^b

En síntesis, los estudios de diagnóstico y diseño habían propuesto la realización de varios muros estructurales nuevos y adosados en puntos estratégicos, así como la intervención en la base de la aguja central y el control de la estabilidad de las cuatro torres o agujas esquineras para mejorar la respuesta sísmica y el comportamiento general de la estructura. A principios de la década del 2000 se constituyó la Fundación Amor por la Catedral Basílica de Manizales, desde donde se obtuvieron recursos de la ciudadanía, del Municipio de Manizales y FINDETER³. Con una singular coordinación técnica entre junio de 2002 y agosto de 2004, estos recursos lograron realizar, mediante la administración directa de la Fundación y través de varios contratistas⁴, las obras de refuerzo sismorresistente propuestas.

Para mejorar el comportamiento ante las cargas laterales se había establecido que era necesario reforzar la estructura mediante ocho muros estructurales ortogonales nuevos ubicados en la periferia, donde eran considerados de mayor eficiencia para efectos estructurales sin que causaran mayores cambios en

la arquitectura original del edificio; dichos muros podrían reemplazar paredes existentes. Sin embargo, debido a las dificultades que esto acarrearía para la construcción, se estableció que dichos muros se construyeran adosados mediante anclajes a las paredes existentes. Aunque modificaba en menor proporción la fachada, esta situación era preferible dado que las cargas verticales seguían siendo trasladadas a la cimentación por las paredes o muros existentes.

Por otra parte, se evitaron grandes dificultades y riesgos en el proceso constructivo, pues en caso contrario habría sido necesario sostener temporalmente grandes cargas tanto verticales como de empuje de los arcos que allí convergen. Estos nuevos muros debían contar con elementos de borde capaces de soportar los momentos que se generan en caso de sismo y que deben llegar a la cimentación apoyándose sobre una nueva viga de cimentación alta, ubicada debajo de la existente, que a su vez debía construirse apoyada sobre caissons que garantizaran el empotramiento de los nuevos muros. Los nuevos muros estructurales contaron con vigas en diferentes niveles y en su parte superior para asegurar que pudieran ser conectados mediante un entramado de nuevas vigas que conformarían un anillo a nivel del diafragma existente entre los 24 m y 27 m de altura con el fin de aportar un sistema idóneo para absorber esfuerzos de tracción cuando se moviera la estructura por un sismo. Las vigas se construyeron utilizando platinas metálicas adosadas y Pernadas a las nervaduras altas de las bóvedas que llegan a las cabezas de los muros y que se conectan con la cúpula debajo de la torre central, logrando la conexión y transmisión de esfuerzos, así como el efecto de diafragma con los nuevos muros estructurales en forma de L que finalmente se construyeron adosados interior y exteriormente a las paredes de la estructura (Foto 4).

La torre central fue intervenida en su base mediante seis pantallas de refuerzo adosadas a la placa plegada que conforma la aguja. De esta manera se mejoró la capacidad de la estructura en la base de la torre para soportar esfuerzos de tracción cuando se viera sometida a fuerzas laterales causadas por sismo. Estas pantallas se construyeron internamente de manera que fuera imposible verlas desde el exterior. Sin embargo, por la acción de sismos recientes ya han presentado fisuración, demostrando que trabajan. Además, se aprovechó la intervención interna en la torre central para realizar una nueva escalera interior helicoidal metálica que permite a las personas subir hasta la punta de la aguja a un mirador conocido como “corredor polaco”.

↓ Foto 4. Vigas de acero (izquierda) conformando un diafragma que conecta las cabezas de los nuevos muros estructurales (derecha).



2: Noticreto 55. Pág. 59 a 65. “Protegiendo nuestro patrimonio. Estudios de vulnerabilidad y reforzamiento estructural. Catedral Basílica de Manizales”.

3: FINDETER: Financiera de Desarrollo Territorial. Banca de Desarrollo de proyectos de infraestructura en Colombia.

4: Construcción del reforzamiento estructural sismorresistente (2002-2004).



↑ Foto 6. Ocho varillas o tensores proveen estabilidad a las torres esquinas en caso de sismo.



↑ Foto 5. Se construyeron pantallas de refuerzo adosadas internamente en la base de la torre central.

Finalmente, para efectos de mejorar la estabilidad de las agujas o torres esquinas, se dispuso una conexión mediante ocho varillas especiales de 7,5 cm de diámetro que conectan la base de la estructura metálica interna de refuerzo de cada torre a 11,20 m de altura, con una nueva viga localizada en la cimentación a la cual deben ir ancladas. Estas varillas actúan como tensores que impiden el volcamiento de las torres en caso de un sismo fuerte (Foto 6).

Tratamiento y protección del concreto^{c,d}

Tratar el estado del concreto de la Catedral ha sido, junto a otras actividades de mantenimiento general, la última intervención que se ha realizado a la Catedral Basílica. Las recomendaciones del proyecto integral de diagnóstico y reforzamiento estructural en el año 2000 señalaron con especial énfasis el tratamiento y protección del concreto. En ese momento, cuando se evaluaron el estado de los materiales y de la patología del concreto, se concluyó que ya había un avance significativo de la carbonatación del concreto y que el fenómeno se agravaría si se dejaba correr mucho tiempo sin intervenirlo. Esto fue ratificado en un estudio más detallado que se realizó en 2013⁵ y que derivó en la necesidad urgente de intervenir la “piel” de la Catedral, llevando a cabo también otras intervenciones relevantes relacionadas con la reparación de elementos decorativos y cornisas, la construcción de un nuevo y adecuado sistema de bajantes, la reconstrucción del alcantarillado y la intervención de las obras escultóricas e imágenes de las fachadas y torres⁶. Este mantenimiento, que debe ser una actividad periódica, se realizó en 2018 atendiendo las recomendaciones técnicas y de protección de la Dirección de Patrimonio del Ministerio de Cultura.

Se previeron dos fases para la ejecución del proyecto de mantenimiento; la primera incluyó las actividades más urgentes como el retiro y reemplazo de morteros de terrazas, canales y pasarelas para mejorar la adherencia, impermeabilización y resistencia morteros mecánica a tracción y flexión. El proceso se complementó aplicando un producto que redujo el agrietamiento, donde a la vez se hicieron refuerzos adicionales con malla electrosoldada en las zonas donde fue necesario. Las pendientes se orientaron hacia las rejillas que fueron proyectadas de acuerdo con las nuevas instalaciones hidráulicas que se definieron e instalaron. Se llevó a cabo el lavado y la desinfección de la fachada aplicando un inhibidor de corrosión y un hidrófugo. Se aplicó un biocida tipo con cloruro de benzalconio debidamente diluido y durante el tiempo mínimo recomendado, lo que se facilitó, además, con cepillos de cerdas plásticas que mejoran la acción del biocida en los diferentes estratos de las capas de suciedad, partículas contaminantes y biopelícula que se había formado con los años.

Posteriormente se realizó la limpieza con hidrolavadora a una presión menor de 750 psi, con chorro en abanico y a más de 30 cm de distancia entre la boquilla y el concreto para evitar daños al material. Una vez seca la superficie, para lo cual se requería al menos de tres días soleados, se aplicó el inhibidor o pasivador de corrosión al concreto reforzado en los sitios de mayor relevancia de las bases y torres. Esta operación generó contratiempos por los cambios de color en el concreto –que se corrigieron con enjuagues abundantes– y por la necesidad de que la superficie se secase, aspecto complejo debido las lluvias persistentes. En la etapa final se aplicó un hidrófugo con el fin de repeler el agua, evitar la corrosión y lograr un recubrimiento que evitara la reaparición de musgo. A medida que se aplicó este producto se intervinieron huecos y fisuras en fachadas y torres de arriba hacia abajo hasta los 11,20 m de altura con otro material apropiado para este tipo de reparaciones; esta labor quedó por completarse en una nueva fase que permita continuar el tratamiento hasta la base del templo. Fue posible eliminar el aspecto oscuro que tenía el concreto debido a la suciedad y a la carbonatación que había sufrido durante muchos años.

↓ Tabla 1. Relación de los ejecutores de las diferentes etapas.

Ejecutores de las diferentes etapas:	
a. Proyecto Integral de Diagnóstico y Diseño del Reforzamiento Estructural (1997-1999)	
Gobernación de Caldas, Subdirección de Monumentos INVIAS	
Consortio conformado por:	
Omar Darío Cardona A. - INGENIAR Ltda., Dirección del proyecto	
Luis Enrique García Reyes - Proyectos y Diseños P&D Ltda.	
Luis Guillermo Aycardi B. - Proyectistas Civiles Asociados PCA Ltda.	
Colaboradores y asesores:	
Jorge Enrique Esguerra L., Investigación histórica	
Juan Gabriel Ocampo H., Levantamiento y modelación virtual	
Jorge Zambrano, Carlos A. Arcila, Diagnóstico de patología	
Juan Francisco Correál, Comportamiento dinámico	
Juan Diego Jaramillo, Instrumentación y análisis de vibraciones	
Luis Eduardo Yamin L., Modelación sísmica del suelo	
Aquaterra Ltda., Áreas Ltda., Perforaciones y apiques de suelo	
Samuel Darío Prieto R., Juan Manuel Sarmiento, Interventoría	
b. Construcción del reforzamiento estructural sismorresistente (2002-2004)	
Fundación Amor por la Catedral Basílica de Manizales,	
Municipio de Manizales, FINDETER	
Samuel Prieto Ramírez, Coordinación técnica	
Contratistas:	
Aquaterra S.A., levantamiento topográfico	
CASEVEN Ltda., cimentación, muros internos y exteriores parcialmente	
Administración directa, reforzamiento de torre central y muros exteriores	
Jubal Estrada y Cía., Reforzamiento de torres laterales, remates y conexiones	
Juan Bernardo Botero B. (qepd), Instalaciones hidráulicas	
c. Evaluación detallada de la patología del concreto (2013)	
Carlos A. Arcila	
d. Reparación y mantenimiento, conservación y restitución de esculturas (2016-2017)	
Arquidiócesis de Manizales:	
Herman Estrada Mejía, proyectista e interventor residente	
José Ignacio Londoño Gómez, administrador delegado y director de obra	
José Fernando Muñoz Robledo, asesor restaurador	
Luis Guillermo Vallejo Vargas, escultor	
Efraín Mejía Restrepo, asesor estructural	
José María Bermúdez Atehortúa, residente de obra	
Diana Constanza Cárdenas Villamizar, ingeniera ambiental	
José Fabián Flórez Buitrago, supervisor de contrato	
DIPRECON SAS, interventoría	
Ministerio de Cultura, Dirección de Patrimonio	
Eugenia Serpa Isaza, coordinadora	
Carlos Ramiro Parra Guerra, asesor	

5: Evaluación detallada de la patología del concreto (2013).

6: Reparación y mantenimiento, conservación y restitución de esculturas (2016-2017)

Esta también fue la oportunidad para reparar las cornisas, los elementos decorativos de la fachada y el recubrimiento de las bajantes utilizando una mezcla de morteros o concretos con ciertas dosificaciones de colorantes, realizando múltiples pruebas de ensayo y error en la búsqueda de imitar el color original del concreto de la catedral. Se tomaron 65 muestras y núcleos para verificar el estado de carbonatación del concreto, y pruebas de extracción de polvo que brindaron información química en el laboratorio sobre el estado de la pasta del concreto. Se limpiaron las bóvedas interiores de excrementos de aves, basuras e incluso fragmentos de madera que estaban presentes desde la construcción y no se habían retirado; igualmente, se colocaron mallas sintéticas para evitar que las aves ingresaran de nuevo a estos sitios. Para mejorar el precario manejo de aguas, se construyó un sistema de sifones, rejillas y bajantes, y además se reemplazó el alcantarillado de calles circundantes a causa de su muy mal estado.

Finalmente, por el deterioro agudo, se procedió a intervenir 22 esculturas de las cuatro torres del templo, algunas reemplazándolas por piezas nuevas y otras sometiendo a un proceso de reparación con resina epóxica resistente a la intemperie, lo que permitió conservar los íconos originales de la catedral. Se reemplazó la cruz existente en la torre central, valiéndole el nombre de Cristo Levitante, lo que exigió no solo un trabajo técnico cuidadoso en materiales, procesos constructivos, plataformas y andamios en altura, sino la destreza y capacidad artística de un reconocido escultor de la ciudad. Adicionalmente se realizó el mantenimiento a las esculturas de concreto ubicadas en las cubiertas, así como a las figuras de los ángeles custodios ubicados en la base de la torre central, donde el concreto fue lavado, desinfectado y protegido con el hidrófugo, como el resto de la estructura.

Conclusión

Se presentó una descripción resumida de las intervenciones de la estructura, condiciones del concreto, elementos decorativos y de esculturas que se han realizado a la Catedral Basílica de Manizales. Estas intervenciones fueron el resultado del Proyecto Integral de Diagnóstico y Diseño del Reforzamiento Estructural, que señalaba las obras de reforzamiento estructural y de amparo del monumento, que debían realizarse para proteger esta obra maestra de la arquitectura colombiana. Después del estudio que se realizó sobre el estado de los materiales, la modelación y evaluación de la respuesta sísmica, el diagnóstico de vulnerabilidad y el diseño del refuerzo estructural, la intervención sismorresistente se llevó a cabo entre 2002 y 2004 y el tratamiento del concreto y otras operaciones se realizaron entre 2016 y 2017.

Se hace evidente el esfuerzo necesario para obtener recursos económicos y profesionales precisos para llevar a cabo las obras de protección de un monumento patrimonial. Aunque todavía falta una segunda fase del mantenimiento —que en realidad debe ser permanente en una estructura como esta— se puede concluir que la decisión de profesionales comprometidos con estos esfuerzos, con su experticia y gestión, han sido el ingrediente fundamental para lograr que la Catedral Basílica de Nuestra Señora del Rosario haya sido protegida para su conservación futura, con el objetivo de que siga siendo una obra maestra emblemática de la cultura sísmica local de la ciudad de Manizales. 



REHABILITACIÓN DE
ESTRUCTURAS DE CONCRETO



VIVIENDA - INDUSTRIA - INFRAESTRUCTURA

Reforzamiento Estructural
Pisos Industriales y Poliméricos
Reparación de Juntas

Protección de Tanques y Piscinas
Fijación de Anclaje de Equipos
Impermeabilización de Cubiertas

Soporte en U.S.A.



Soporte en Alemania



CERTIFICADO No. GS 907

57 1 670 4500 / 57 311 5141919 / BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA / JUAN.BETANCOURT@JJB.COM.CO

www.jjbt.com.co

Rehabilitación estructural: Una visión desde la cultura alemana

Juan Mauricio Lozano.

Estudiante de Maestría en Ciencia de los Materiales: Diseño, Evaluación y Reparación de Estructuras de Concreto y Gestión del Riesgo.

Contexto y retos actuales en Alemania

Para entender el enfoque que tiene la rehabilitación y el mantenimiento de las estructuras en Alemania, primero se debe analizar el desarrollo de la ingeniería civil en este país y los retos que enfrenta en la actualidad.

Alemania ha sido un país pionero en el uso del concreto reforzado. Las primeras estructuras construidas con este material datan desde finales del siglo XIX y su aplicación se extendió a lo largo del siglo XX. El concreto reforzado acompañó fuertemente la reconstrucción del país después de la Segunda Guerra Mundial, con proyectos de vivienda como los impulsados por la *Neue Heimat*¹ desde mediados del siglo, o al lado de eventos deportivos como los Juegos Olímpicos de Múnich en 1972, el Mundial de Fútbol de Alemania Federal en 1974 o la Eurocopa de 1988. El país ha invertido grandes sumas de dinero en su infraestructura, que incluye obras de concreto como puentes, túneles, puertos, aeropuertos, edificaciones gubernamentales, escenarios deportivos y complejos industriales, entre muchos otros. Este desarrollo y reconstrucción de la infraestructura en Alemania fue clave para impulsar otros sectores de la economía como el minero-energético y los de transporte y servicios.

Con el pasar de los años se han presentado algunos casos de deterioro acelerado de estructuras, causado en gran parte por errores en su diseño o construcción, o por un desempeño inadecuado de los materiales. Infortunadamente, en algunos casos no fue posible detectar estos defectos antes de que la estructura llegara a un estado crítico, o incluso al colapso. Un ejemplo muy conocido en Alemania es el del techo del Kongresshalle (Foto 2) en Berlín (*Haus der Kulturen der Welt*), edificio donado por Estados Unidos a Alemania como un gesto político para afianzar las relaciones de ambos países. El edificio es un auditorio con una cubierta moderna en forma de “hoja” sostenida por dos arcos oblicuos (estructura de acero y concreto postensado),



↑ Foto 1. Viga de concreto afectada gravemente por corrosión y, en consecuencia, “desconchamiento” o “resquebrajamiento” (spalling) del concreto. La rehabilitación de estructuras en Alemania se basa en la prevención y el monitoreo y busca evitar que se llegue a estados críticos donde las reparaciones son complejas y costosas.

JUAN MAURICIO LOZANO

cuya construcción tuvo lugar entre los años 1956 y 1957. Desafortunadamente en 1980, tan solo 23 años después de su inauguración, la cubierta de este moderno edificio colapsó, provocando la muerte de dos personas y causando heridas a otras, de acuerdo con reportes de medios locales. Después de la investigación se pudo determinar que la causa del colapso de la estructura se debió a la corrosión de los cables de acero postensados cerca del punto de anclaje en la parte externa del techo, provocada anticipadamente por deficiencias en el diseño y la construcción de esta importante estructura.

1: Movimiento social en la Alemania de posguerra.

Ante la importancia política del edificio, que se había convertido en uno de los símbolos más significativos de la arquitectura de Berlín, decidieron rehabilitar los daños causados por el colapso y reconstruir la cubierta corrigiendo las deficiencias encontradas. Los trabajos de rehabilitación y reconstrucción se desarrollaron entre 1984 y 1987 y tuvieron un costo estimado entre 70% y 80% del costo original de la obra. En los años siguientes, el edificio ha sido objeto de nuevas inspecciones e incluso de algunas intervenciones menores con el objetivo de mantenerlo en buenas condiciones. En la actualidad el Kongresshalle sigue siendo uno de los símbolos arquitectónicos de Berlín y con la ayuda de inspecciones e intervenciones, se espera que continúe formando parte del paisaje urbano de la ciudad.

Por casos como este, el diseño, la inspección y la rehabilitación de las estructuras en Alemania está regulado por diferentes normas y estándares.



↑ Foto 2. Kongresshalle en Berlín. La cubierta de este auditorio fue reconstruida después de colapsar por corrosión de los cables de postensado.

JULIÁN FELIPE TORRES CAMPOS

Contexto normativo

El enfoque normativo en Alemania es similar a el de Colombia y el resto del mundo en lo relativo a principios básicos de diseño y construcción de una estructura. Los siguientes, son tres aspectos importantes en los que se basan las especificaciones normativas o códigos de construcción:

- **Estabilidad:** la estructura debe ser capaz de soportar las cargas previstas a lo largo de su vida de servicio y vida útil. Lo que se busca con esta condición es que las estructuras no colapsen bajo condiciones de carga previstas que incluyen, entre otras, las acciones por peso propio, el tráfico e incluso las derivadas de la ocurrencia de un sismo, tormenta o incendio (tema especial para el caso alemán). Si hay un cambio en las cargas o acciones sobre la estructura (por cambio de uso, por ejemplo), esta debe ser objeto de evaluación y revisión por parte de un ingeniero estructural y se deben realizar las modificaciones estructurales pertinentes, que usualmente deben ser tramitadas y aprobadas por la autoridad local competente.

- **Serviciabilidad** (anglicismo de *serviceability*): hace referencia a la capacidad de la estructura para ejecutar su función de manera adecuada, es decir, que tenga un buen desempeño. Por ejemplo, contener el agua (impermeabilidad) es una función importante en las estructuras hidráulicas, mientras que proteger a sus ocupantes de los efectos del clima es función importante de las envolventes (fachadas, cubiertas) de las edificaciones. En Alemania, si la estructura no cumple los estándares de servicio pactados o esperados, puede constituirse en un defecto o deficiencia y podría incluso tener repercusiones legales (compensación, reparación o restitución).
- **Durabilidad:** esta condición busca que la estructura conserve sus propiedades de estabilidad y serviciabilidad a lo largo de su vida de servicio y vida útil, con algunas intervenciones en caso de ser necesario. Se incluyen en este aspecto, por ejemplo, especificaciones como el recubrimiento suficiente del acero de refuerzo, el uso de sistemas de protección como geotextiles o recubrimientos especiales y la inclusión de programas de inspección y mantenimiento (especialmente en el caso alemán).

Los aspectos de estabilidad, serviciabilidad y durabilidad forman parte integral del diseño de las estructuras en Alemania y en general, en todo el Mundo. No obstate con base en su propia experiencia, los alemanes han entendido que el aspecto de la durabilidad no debe tratarse únicamente durante el diseño y construcción del proyecto ya que, aunque satisfaga altos estándares de calidad, es imposible evitar el deterioro de la estructura a lo largo del tiempo solo restringiéndolo a valores de desempeño aceptables. Sin embargo, debido a la gran incertidumbre sobre el riesgo que representa el colapso de alguna estructura y el dinero invertido en ella, los alemanes examinan y evalúan sus obras de concreto de manera periódica y de ser necesario, las reparan, rehabilitan o incluso las demuelen.

En Alemania la rehabilitación estructural hace parte de una visión más amplia de las estructuras y se incluye dentro de una especie de plan de gestión de la vida útil de las estructuras (o como lo llaman ellos: *Lebensdauermanagement*); entienden la rehabilitación como parte integral de un proceso que va desde el diseño de las estructuras (DIN EN 1990) para llegar, a través del desempeño y la evolución de su deterioro, a la evaluación, planeación y ejecución de trabajos de rehabilitación (DIN EN 1504) y el posterior monitoreo.

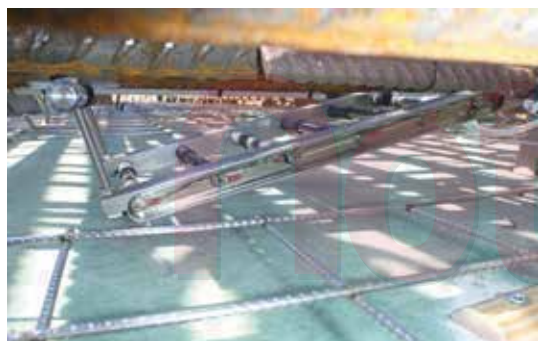
Esto ha llevado a que algunas estructuras con un nivel de riesgo alto como los puentes, estadios, teatros y escuelas, entre otros, deban ser examinadas periódicamente para monitorear su estado, y desempeño y así poder detectar y tratar a tiempo los deterioros en la estructura antes de que ésta llegue a un estado crítico.

Ventajas del modelo

Esta visión de las estructuras en Alemania ha llevado a que se construyan redes y asociaciones dentro del sector de la ingeniería civil: diseñadores, constructores, fabricantes de materiales, productos para la construcción y de investigadores, entre muchas otras. Gracias a esta red, la ingeniería en Alemania está en permanente evolución y los beneficios en la rehabilitación llevan a un gran desarrollo del sector.



← Foto 3. Acceso a la red de senderos de la cubierta en el Estadio Olímpico de Múnich.
JUAN MAURICIO LOZANO



← Foto 4. Escalera de ánodos antes del vaciado del concreto para la estimación de la profundidad de penetración de cloruros a través de medidas de diferencia de potencial y corriente entre ánodo y cátodo.
IB SCHIESSL-GEHLEN-SODEIKAT

El ciclo diseño – construcción – monitoreo – evaluación – rehabilitación – monitoreo de la rehabilitación – evaluación – cierre, da mejor comprensión del desempeño de las estructuras de concreto debido a que hay más datos disponibles y es posible validar el desempeño de diferentes materiales o estilos constructivos de primera mano. Incluso, actualmente las estructuras en Alemania son planeadas y construidas considerando los accesos a las diferentes zonas de la estructura para hacer fácil y cómoda la inspección y evaluación de las mismas y, por supuesto, llevar a cabo los trabajos de mantenimiento y rehabilitación necesarios. Por ejemplo, los tejados de los estadios tienen escaleras, sistemas o áreas de acceso para realizar inspecciones; algunos pilares de puentes y algunas torres tienen conductos internos para acceder a las diferentes zonas de las estructuras e incluso algunas fachadas y cubiertas están concebidas para facilitar las inspecciones.

Un ejemplo es el Estadio Olímpico de Múnich, cuyos mástiles tienen accesos para inspeccionar los cables en la parte superior, su cubierta tiene pasarelas para facilitar la inspección, el mantenimiento y la rehabilitación. Las pasarelas del techo pueden ser, incluso, visitadas por turistas (Foto 3).

Puede pensarse que este modelo preventivo ha llevado a disminuir los trabajos de rehabilitación en Alemania, pero no es del todo así. Si bien es cierto que se busca evitar que el deterioro de las estructuras alcance un estado crítico, hay situaciones en que es inevitable una rehabilitación. Es cuestión de encontrar el momento justo para intervenir: antes de que el deterioro avance hasta un punto crítico, donde los costos de rehabilitación son usualmente mayores, o que incluso la estabilidad de la estructura se vea comprometida. Las inspecciones periódicas resultan en una mejor relación costo/beneficio o costo/riesgo para los dueños. En algunos casos, incluso, se instalan sensores dentro del concreto durante la fase constructiva para hacer más fácil el monitoreo de la estructura en zonas críticas o de difícil acceso, por ejemplo, en la cara contra el suelo o la roca en cimentaciones o túneles (Fotos 4 y 5).

Esto ha abierto un mercado para oficinas de ingenieros especializadas en la inspección y evaluación de estructuras de concreto y para empresas especializadas en la rehabilitación de estructuras. Que se trabaje en la prevención del deterioro de las estructuras no quiere decir que desaparezcan las labores de rehabilitación. Los trabajos de rehabilitación son una parte integral del ciclo del manejo de la vida útil de las estructuras en Alemania y constituyen hoy en día buena parte de los proyectos del sector de la construcción, con un crecimiento considerable en los últimos años y una excelente proyección.



→ Foto 5. Monitoreo de sensores instalados en túneles.
IB SCHIESSL-GEHLEN-SODEIKAT

Conclusiones

Como muchos aspectos de la vida en Alemania, la rehabilitación se mira bajo la lupa de la “eficiencia alemana”. Con los diferentes programas, normativas y en general la cultura de los dueños de los proyectos e ingenieros, se busca hacer de la rehabilitación una actividad eficiente, incrementando ligeramente los costos iniciales del proyecto (al mejorar las especificaciones) y de operación (debido a las inspecciones), pero reduciendo en gran medida la incertidumbre y el riesgo asociados al deterioro de las estructuras. La rehabilitación en Alemania tiene como objetivo evitar que la estructura llegue a un estado crítico; la visión que se tiene es llevarla a cabo en el momento justo y con soluciones adecuadas a las necesidades de la estructura, buscando evitar la pérdida de vidas humanas y costos elevados por intervenciones tardías (usualmente más extensas y costosas) o reconstrucciones totales o parciales después de un colapso. 

**Desde
el primer
día hace
28 años,
trabajamos
con la misma
pasión.**

**Pasión que
trasciende.**



**San
Martín**

Perú
Colombia
España

Jr. Morro Solar 1010
Santiago de Surco
Lima 33 - Perú

(511) 450-1999
sanmartin.com

Gerencia de proyectos: Gestión para el mantenimiento de las obras

Ing. Luis Alberto Chaves.
Gerente General, DC-Port



↑ Foto 1. Vista aérea del edificio administrativo principal de la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial. FLICKR

¿Cuál es la **vida útil del edificio** donde vive? ¿Cuál es la **durabilidad de los materiales** que se incorporan a la edificación? ¿Qué tanto **afectan al medio ambiente**? ¿Cuántos **productos de fabricación nacional** utiliza? ¿Cada cuánto hay que hacerle **mantenimiento** y de qué tipo? ¿Cuánto **cuesta**?

Para responder a estos interrogantes está la Gerencia de Proyectos; una herramienta de gestión que permite tener una visión integral de las construcciones, ampliando su horizonte en espacio y tiempo; incluyendo el entorno económico, social y ambiental; articulando a los distintos actores durante todo el ciclo de vida de los proyectos y manteniendo como norte los requerimientos de propietarios y usuarios.

Proyectos realizados por fases independientes

Las obras que construimos suelen durar décadas y hasta cientos de años, mucho más de lo que dura nuestra existencia como seres humanos. En condiciones normales nadie puede ver el desmantelamiento natural de los proyectos que construyó porque inclusive, entre el momento de la concepción de un proyecto y su puesta en marcha, pueden pasar varios años.

↓ Foto 2. Puente caído en Madagascar.
WIKIPEDIA



Se pueden tipificar ciertas fases secuenciales de un proyecto de construcción: formulación y planeamiento, diseños, construcción, operación y disposición final. Cada una de ellas se ejecuta en un momento diferente y generalmente por personas distintas, por lo cual resulta muy difícil mantener una gestión unificada de la integralidad del proyecto. Los criterios adoptados para la toma de decisiones en un momento dado no se mantienen fácilmente en las fases posteriores. A medida que transcurre el tiempo resulta más difícil conocer el propósito con el que se tomaron ciertas decisiones que llevaron a actuar de manera no siempre congruente con los criterios iniciales. Además, cada fase tiene sus propias consideraciones, pero aquellas que son importantes en las etapas posteriores de construcción y operación deben ser tenidas en cuenta desde la formulación y los diseños del proyecto. Como consecuencia de esto, actualmente se presenta una clara desarticulación entre las distintas fases.

Fallas en los proyectos

Últimamente hemos visto fallas en proyectos de todo tipo: puentes, vías, represas, túneles y edificios. Con independencia de que los colapsos obedezcan a los diseños o a la construcción, en última instancia la responsabilidad es compartida con los propietarios de

los proyectos por no asumir la coordinación y validación de lo que se está realizando, con consecuencias inclusive de tipo jurídico.

En muchas instancias el Estado considera que, al tratarse de una concesión, de una APP (Asociación Público-Privada), o porque existen garantías y pólizas de seguros, la responsabilidad es exclusiva del ejecutor, pero esta visión no vela integralmente por los intereses del proyecto durante todo su ciclo de vida.

Exactamente lo mismo sucede con los proyectos desarrollados por privados, quienes consideran que, basta con contratar especialistas en cada área, dejando de lado la integración adecuada de todos los componentes y la supervisión del diseño y, finalmente quien construye es un contratista, ajeno al proceso. De esta manera no se cuidan apropiadamente los intereses del dueño y de los usuarios del proyecto. Mas aún, si se sigue el mismo razonamiento, no se planea, no se diseña ni se construye para la conservación acertada y económica de las obras durante la larga fase de operación.

Lo natural es que todo llega a un final de su vida útil, y en ese momento queremos prolongarla. Si no se ha previsto esta situación desde el comienzo, generalmente se recurre a métodos y procedimientos onerosos y poco efectivos. En muchos casos resulta desproporcionadamente costoso prolongar la duración de un proyecto: por ejemplo, el muelle de Puerto Colombia en Barranquilla, que nadie previó cómo desmantelarlo, se fue cayendo por pedazos ante la impotencia y consternación de los colombianos. Pasados 124 años de construido, su restauración es imposible y la solución es terminar de demolerlo y hacerlo nuevamente en el mismo sitio a un elevado costo.

↓ Foto 3. Incendio Catedral de Notre Dame.
FLICKR





Figura 1. Ciclo de vida de los proyectos.
LUIS ALBERTO CHAVES

Foto 4. Restauración de edificios en la vía Zhongshan, Haikou, China.
WIKIPEDIA

Problemas como estos no son exclusivos de países como el nuestro y tienen carácter mundial. A raíz del incendio en la catedral de Nôtre Dame en París se ha encontrado que alrededor de 5.000 iglesias en Europa requieren urgente mantenimiento, con métodos y costos que nunca fueron previstos.

De igual manera, la infraestructura en Estados Unidos se encuentra en muy mal estado. Un informe elaborado en 2017 por la Asociación de Constructores de Autopistas en los Estados Unidos (ARTBA) indicó que en el ese país hay 55.710 puentes deficientes que necesitan reparación o reemplazo. Además, según la Sociedad Estadounidense de Ingeniería Civil (ASCE), la inversión necesaria en infraestructura en este país es de US\$ 200.000 millones durante cada uno de los próximos diez años, cifra que sobrepasa las posibilidades aun de la mayor economía del Mundo.

Gestión del Ciclo de Vida de los proyectos

La Gerencia de Proyectos pretende tener bajo control los aspectos que resultan relevantes a la hora de ejecutar una obra, aquellos relacionados con el alcance, tiempo, costos, calidad, recursos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones, interesados y sostenibilidad del proyecto.

En la construcción en Colombia se ha dado un gran paso con la obligación de tener supervisor para que se garantice la calidad de la edificación que se construye. Pero nos queda el asunto de diseñar y construir teniendo en cuenta la conservación del inmueble una vez haya sido entregado a los usuarios.



En proyectos nuevos lo ideal es implementar la Gestión del Ciclo de Vida durante la fase de planeación, pero incluso se puede adoptar en cualquier momento para abordar lo que resta de su vida útil de funcionamiento. La fase de operación se caracteriza por una larga duración y numerosas influencias externas, incluyendo el deterioro normal de los materiales y los daños físicos. Finalmente, se deben tomar decisiones relativas a la extensión de la vida de servicio o la demolición de la estructura al final del ciclo.

La Gestión del Ciclo de Vida es un enfoque que permite lograr una funcionalidad y calidad efectivas en costos. Los costos de toda la vida de un proyecto se relacionan no solamente con los costos directos de diseños, construcción, inspecciones, mantenimiento, mejoras, etc. del activo, sino también con los costos indirectos y los beneficios probables relacionados con su uso y con el medio ambiente en donde se localiza. También resulta necesario determinar los criterios de desempeño en cuanto a funcionalidad y calidad técnica.

Los costos iniciales son relativamente fáciles de calcular, mientras que los de mantenimiento de la obra son difíciles de estimar con precisión. Generalmente, los costos de demolición no son significativos en el momento inicial cuando se traen a valor presente, debido a su lejanía en el tiempo. Sin embargo, cuando llega el momento, nunca existen los recursos económicos para hacerlo.



Foto 5. Proceso de restauración del Partenón. Grecia.
PXHERE

El propietario de una obra debe decidir si está dispuesto a pagar más por el proyecto durante la construcción y menos para el mantenimiento, o a hacer una obra más económica inicialmente, pero de costos más altos en los mantenimientos futuros.

Respecto a las consideraciones ambientales, deben ser tenidas en cuenta durante la construcción, durante la operación y durante el desmantelamiento, lo que con frecuencia se traduce en diferencias importantes en los procesos constructivos, las características de los equipos y los materiales utilizados.

Otro aspecto para tener en cuenta surge de la gran cantidad de información que se genera durante el desarrollo de los proyectos. Esta información está relacionada con los criterios con que se tomaron las decisiones, con las especificaciones y parámetros de diseño, con la forma como quedó efectivamente construido, con los resultados de las diferentes inspecciones durante su funcionamiento y muchos otros documentos.

Resulta indispensable mantener toda esta información adecuadamente documentada y almacenada, y son los sistemas de información disponibles los que hoy en día permiten contar con los medios para realizarlo. El BIM (*Building Information Modeling*) es un sistema que permite mantener documentada y centralizada, en forma gráfica, gran cantidad de información relevante para el proyecto. Este sistema se puede implementar desde la fase inicial e incorporar a través del tiempo la información que se va generando.

Durante la fase de operación resulta sumamente útil tener a la mano la trazabilidad de todo lo ocurrido previamente en el proyecto: planos, especificaciones de materiales y equipos, mantenimientos, reparaciones, costos, etc.

Todas las estructuras alcanzan el fin de su vida de servicio y es en esta fase donde se requiere de un sistema de información robusto y suficiente respecto a los diseños, construcción, mantenimiento, reparaciones o mejoras al activo. Esto permite tener un juicio bien informado para la toma de decisiones sobre el futuro del inmueble.

Conclusiones

La Gestión Integral de Proyectos obliga al propietario a tener dirección y control centralizado y continuo durante todo el tiempo de vida de las obras que se construyen.

Para la adecuada gestión del mantenimiento de los proyectos es necesario que aquellas actividades propias del mantenimiento se articulen con los demás aspectos del proyecto durante todas sus fases. Existen robustas metodologías y sistemas de información que permiten realizar esta tarea. La Gerencia Integral de Proyectos constituye un sistema apropiado para tal fin, siempre y cuando se visualice desde una perspectiva ampliada en tiempo y espacio.

En última instancia, el propietario de una obra, que es el directo responsable por todo cuanto le ocurra, debe asumir su compromiso desde el comienzo del proyecto hasta su disposición final. 

Cómo supervisar obras de rehabilitación

Ing. Jairo Niño
Especialista en Concreto y Cemento

→ Las obras de rehabilitación requieren de adecuada supervisión técnica.
EUCOM



Todas las obras requieren de supervisión técnica de manera que se garantice su adecuada ejecución. Sin embargo, esta condición es aún más importante en obras de rehabilitación debido a lo delicado que puede llegar a ser este tipo de intervenciones, bien sea por el compromiso de estabilidad durante la realización de los trabajos o por las técnicas utilizadas, por lo general únicas y particulares para cada elemento a ser intervenido.

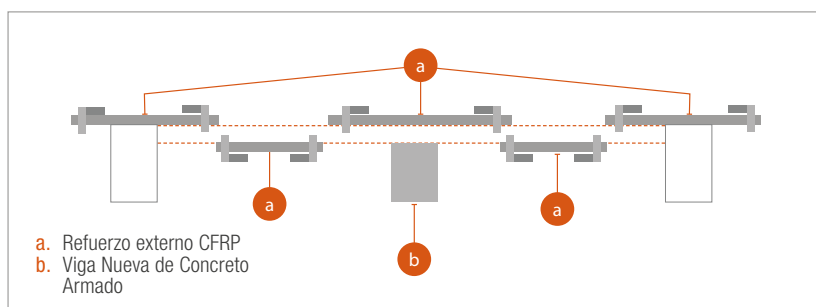
Al respecto, la supervisión técnica en obras de rehabilitación debe poner especial atención a los siguientes puntos:

- Metodologías de trabajo
- Materiales
- Equipos
- Personal
- Calidad y control de ejecución
- Seguridad durante la reparación
- Criterios de aceptación.

Metodologías de trabajo

Se debe contar con modelos secuenciales de la reparación, preferiblemente gráficas, que permitan visualizar a todos los comprometidos en la reparación y en la correcta ejecución de los trabajos.

Estos modelos gráficos permitirán –tanto a la supervisión, como al personal de obra (ingenieros residentes, maestros y obreros)– tener una orientación clara de cómo realizar los trabajos de manera adecuada. Los modelos son esenciales para la supervisión, ya que son la guía sobre la cual se verificará que el trabajo en campo corresponda a lo especificado por el diseñador como solución técnica y constructiva para reforzar la estructura.



Materiales

Se requiere especial cuidado en lo que respecta a la selección, compra, recepción, empleo y consumo. Los materiales para reparaciones se especifican en función de ciertas propiedades para las que han sido previamente diseñados, razón por la cual su proceso de selección debe ser cuidadosamente estudiado. Es recomendable que la supervisión participe activamente en este proceso, de modo que garantice que los materiales comprados por el contratista cumplan a cabalidad con las capacidades técnicas indicadas en las especificaciones. Se recomienda seguir las indicaciones establecidas en las guías de reparación del ICRI (International Concrete Repair Institute).

El proceso de compra debe arrojar como resultado la adquisición de materia prima técnicamente idónea, pero también económicamente adecuada, pues debe velarse por un buen valor final de los trabajos. En general, los materiales utilizados en obras de reforzamiento son costosos, por lo que se debe supervisar que las cantidades compradas sean estrictamente las necesarias para llevar a cabo los trabajos contratados, pues los excedentes son difícilmente aprovechables, ya que cada obra tiene requerimientos particulares. Es importante tener muestras para validar su comportamiento según lo esperado; estas muestras deben quedar documentadas de manera que sirvan no solo como guía para el uso de los materiales, sino también como pruebas de garantía.

Se debe verificar en sitio que las condiciones de recepción y almacenamiento sean las mejores, según lo requerido por cada material. Estas condiciones se describen en las fichas técnicas y de seguridad e incluyen contar con cantidad de espacio disponible, adecuadas condiciones ambientales como techado, ventilación y contacto directo con pisos o paredes.

El consumo debe ser controlado en forma detallada desde el inventario y la supervisión debe poner especial atención, la estrategia de uso (parcial o total, de acuerdo a la presentación) y la medición en sitio, que muchas veces determina la forma de pago al contratista.

Equipos

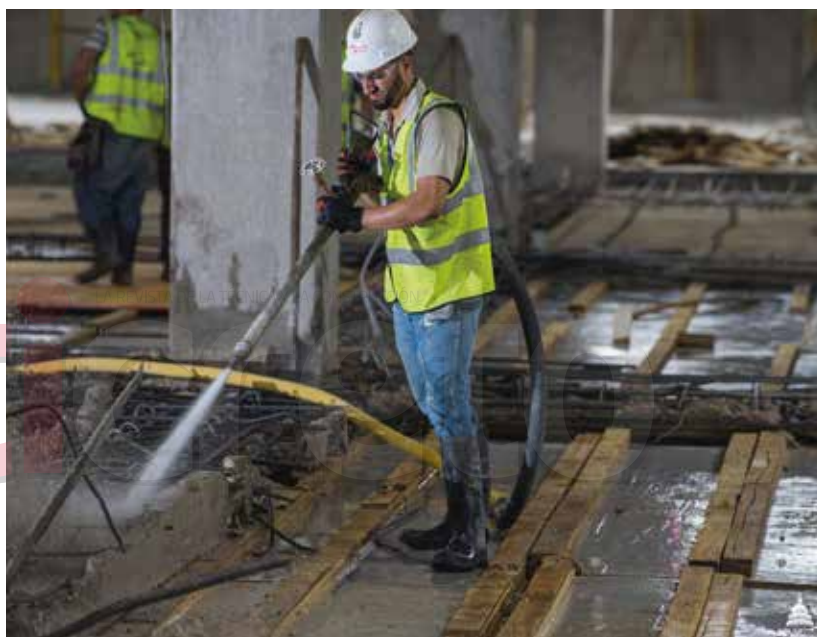
Según las especificaciones de las reparaciones, se debe realizar una selección minuciosa de los equipos a utilizar, que usualmente son especializados y exigen una inspección previa y durante la ejecución de los trabajos para garantizar que se cumpla a cabalidad con

el propósito de su uso. Algunos equipos utilizados con frecuencia son para lavados con agua a baja, media, alta y ultra alta presión, equipos de lavado con chorro de arena, escarificadores, roto-martillos con diferentes tipos de puntas, equipos de quema controlada, equipos de lanzado de concreto, etc.

Personal

Gran parte de los trabajos de reforzamiento de una estructura de concreto tienen incorporado un componente de mano de obra importante, y al ser labores no usuales de construcción tradicional, requieren de personal técnicamente capacitado y con supervisión en campo permanente para cada trabajo.

↑ Ejemplo de un reforzamiento de losa, aplicación de viga nueva de concreto armado y fibra de carbono CFRP.
JAIRO NINO



↑ Equipo de lavado con agua a presión.
FLICKR - US CAPITOL

➔ Capacitación al personal en el uso de productos especializados.
FLICKR - WASHINGTON STATE DEPT OF TRANSPORTATION



Este proceso de supervisión no recae solo en el ingeniero residente, sino también en la interventoría técnica de la obra, que debe estar presente y convalidar las capacidades del personal, asegurando que el resultado final de la intervención sea el esperado.



Calidad y control en la ejecución

Cuando no se trata de una obra nueva sino de la intervención de una estructura existente, se debe prestar especial atención a la calidad de la ejecución de los trabajos que van a realizarse. Esto implica que la supervisión se cerciure del cumplimiento de especificaciones, materiales, equipos y personal.

En concordancia con lo expuesto anteriormente, Paulo Helene & Fernanda Pereira en su libro *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto* enuncian que la supervisión debe tener conocimientos sobre los siguientes aspectos:

- Saber cuáles son las características del daño a reparar y poder identificarlo correctamente en la estructura.
- Conocer la metodología propuesta por el contratista para hacer la reparación y tener criterio para poder opinar sobre ella y dar puntos de vista que la puedan ratificar o rectificar.
- Evaluar las habilidades del obrero para realizar la reparación.
- Identificar adecuadamente los materiales y sus características que los hacen propicios o no para la reparación en cuestión.
- Identificar las características del equipo a utilizar y poder opinar sobre su idoneidad y estado de funcionamiento para la reparación.
- Tener un criterio que le permita proponer soluciones alternas efectivas en casos donde los imponderables jueguen un papel importante en la reparación, como cuando llueve.

↑ Charla diaria de seguridad
con el personal.
FLICKR - USDA FOREST SERVICE

Seguridad durante la reparación

Actualmente, la seguridad industrial es un pilar para cualquier organización. Es por esto que la supervisión también debe velar por la aplicación de buenas prácticas, teniendo en cuenta que muchas veces la complejidad y tipo de trabajo van más allá de lo usualmente utilizado en construcción.

Dentro de lo que se debe supervisar, destaca el uso adecuado y condiciones de cada uno de los elementos de protección personal - EPPs, los equipos de primeros auxilios y la señalización, que debe ser suficiente y estar dispuesta de forma correcta dentro de la obra.

Criterios de aceptación

Por último, y como resultado esperado, la supervisión debe garantizar que los trabajos hayan sido ejecutados de acuerdo con lo especificado, para lo cual tuvo que haberse corroborado la adecuada utilización de materiales y equipos y la correcta aplicación de los métodos propuestos, incluso muchas veces realizando pruebas de verificación adicionales a las requeridas al contratista de manera que se conserve cierta independencia.

Por último, corroborar los criterios iniciales contra lo ejecutado: costos vs. presupuesto, tiempo de ejecución vs. lo planificado. Esto permite cerrar el ciclo integral de calidad exigido por la obra y dará como resultado un incremento en su vida útil, siendo esto último el propósito de cualquier rehabilitación de una estructura de concreto.

Bibliografía

- Paulo Helene & Fernanda Pereira: *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*.
- ACI 562-16 - *Reparación de estructuras de concreto*. 



Reunión del Concreto *Asocreto*
LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN
Cartagena Colombia - Septiembre 23 al 25

¡PREPÁRATE DESDE YA!

Separa en tu agenda los días 23 al 25 de septiembre de 2020 y forma parte del **Encuentro Técnico más importante de América Latina**, sobre construcción con cemento, concreto y prefabricados: **La Reunión del Concreto RC 2020**, en Cartagena, Colombia. Prepárate para **3 días** de encuentro con más de:



2.000 colegas, reunidos en torno a más de **100** actividades técnicas



Seminarios, conferencias, talleres y plenarias en **4 salones simultáneos**



Muestra comercial de más de **150 stands**



2 actividades sociales

Síguenos en nuestras redes sociales:



Más información
reunión@asocreto.org.co
www.asocreto.org.co

#RC2020

Consideraciones técnicas

Morteros de reparación de alta especificación

Ing. Gustavo Rincón
Analista de Desarrollos CP. Toxement S.A.



→ Movistar Arena, Bogotá. Estructura en concreto masivo con diseño arquitectónico especial. TOXEMENT S.A.

Partiendo de la declaración de **desarrollo sostenible** de la Cumbre de Río en 1992, la tradicional visión de **demoler y construir ya no es viable**; por lo mismo, las nuevas tecnologías de materiales de **reparación** son tan importantes como el concreto mismo.

El concreto es el material de construcción más usado a nivel mundial y es fácil reconocer que, gracias a su disponibilidad, plasticidad, economía, resistencia y durabilidad no tiene competencia. Principalmente por la durabilidad, vemos que innumerables construcciones son el legado de arquitectos y diseñadores que grabaron su nombre en la historia gracias a que sus edificaciones siguen prestando servicio después de muchos años.

La durabilidad del concreto no significa que sea un material indestructible pues, indirectamente, también es responsable de que los problemas constructivos con frecuencia sean ignorados hasta cuando el daño se hace evidente. Partiendo de la declaración de desarrollo sostenible de la Cumbre de Río en 1992, la tradicional visión de demoler y construir ya no es viable; por lo mismo, las nuevas tecnologías de materiales de reparación son tan importantes como el concreto mismo.

Al hablar de reparación de concreto hay que resaltar el trabajo hecho por el *American Concrete Institute* y el *International Concrete Repair Institute*, entidades que durante décadas se han encargado de establecer estándares y guías de trabajo en todo lo que concierne a la reparación de estructuras de concreto. La experiencia y la visión multidisciplinaria de ingenieros, fabricantes, especificadores y aplicadores ha pavimentado un cómodo camino para que los encargados de tomar decisiones dispongan de una fuente de información confiable y de fácil acceso, que no deje detalles al azar. Todo esto ha sido consignado en el *Manual de Reparación de Concreto*¹.

Antes que nada, hay que establecer que el éxito en una tarea de reparación de concreto no depende únicamente del material de reparación. Los fabricantes pueden formular una gran variedad de productos con fascinantes características que directamente determinan el desempeño de la reparación. Sin embargo, el material es solo uno de los participantes del sistema, muy importante, claro está, pero no el único.

La guía ICRI No. 320.2R *Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces*, cuya última actualización fue en el año 2018, establece los lineamientos técnicos que ayudan a diseñadores, especificadores, aplicadores y fabricantes a orientar las decisiones en la selección de materiales de reparación de concreto, de tal manera que en cada proyecto se defina cuáles son las necesidades y qué propiedades debe tener el producto aplicado para obtener reparaciones duraderas y efectivas.

Para empezar adecuadamente un proyecto de reparación es indispensable determinar minuciosamente la causa del problema, su gravedad y dimensión. Para tal objetivo, el *Manual de Reparación de Concreto* recomienda aplicar la guía ACI 364 1R *Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation*; este documento define el procedimiento general para la evaluación detallada de la estructura, de tal manera que el responsable de la evaluación determine cuáles son las causas principales del problema.

Análisis de causa raíz

El daño en estructuras de concreto puede obedecer a múltiples factores. Por ejemplo, es común encontrar proyectos donde se manifiesta que la causa del daño es corrosión en la estructura de refuerzo; sin embargo, hay que aclarar que la corrosión no es la causa del problema sino uno de sus efectos, es decir, hay que ir más allá y establecer cuál es la causa raíz que provoca la degradación del material de refuerzo y el subsecuente daño al concreto que hace evidente el problema.

Las principales causas de deterioro de estructuras, según el procedimiento de diagnóstico recomendado por el Manual de Reparación del ACI, se agrupan así:

- Errores asociados al proceso de diseño
- Especificación o uso inadecuado de materiales
- Errores durante la aplicación y el proceso constructivo
- Agentes ambientales
- Sobrecargas a la estructura
- Eventos accidentales como incendios, sismos o inundaciones
- Reparaciones inadecuadas

Determinar la causa raíz del problema no es tarea fácil; exige realizar inspecciones visuales, mediciones en sitio, toma de muestras, evaluación de propiedades en el laboratorio y diagnósticos precisos como los obtenidos a través de petrografía del concreto².

➔ Proyecto Tercer Puente, Canal de Panamá. Estructura sometida a grandes esfuerzos y condiciones ambientales que requieren materiales de alto desempeño. TOXEMENT S.A.



Planteamiento de objetivos

Una vez identificada la causa del problema, el paso a seguir es determinar los objetivos del proyecto. Es aquí donde el propietario establece prioridades en cuanto al desempeño, el presupuesto y los riesgos asociados a cada situación. Un proyecto puede tener diferentes objetivos a la hora de solventar un deterioro del concreto. Dentro de las posibilidades están:

1. Preservar el material: mantener el estado actual de la estructura evitando deterioro futuro
2. Rehabilitar el material: proceso en que se repara y modifica la estructura para darle un uso específico
3. Reparar el material: se reemplazan o se corrigen los daños, componentes o elementos de la estructura
4. Restaurar el material: se recuperan la integridad, la forma y la apariencia deseada de la estructura

Cuando se llega a un acuerdo con respecto al objetivo del proyecto, lo siguiente es determinar cuáles son las propiedades del material de reparación adecuado. Tales propiedades están directamente relacionadas con la causa raíz del problema pues, además de corregirlo, hay que evitar que se replique en el futuro.

Materiales de reparación de alta especificación

Es responsabilidad del especificador del proyecto establecer con claridad las propiedades clave que debe tener el material de reparación, y apoyarse para esto en los estándares reconocidos por la industria y las asociaciones afines, quienes han determinado objetivamente la evaluación y medición de propiedades técnicas de los materiales. Normalmente los fabricantes adoptan los estándares según la región en que se fabrican sus materiales. Algunos de los más reconocidos son los establecidos por las

1: El Manual de Reparación de Concreto disponible en su cuarta versión y cuenta con más de 2.000 páginas. El trabajo detallado que presenta dicho manual no es único del ACI y el ICRI; para su desarrollo, organizaciones afines de la industria consolidaron la Visión 2020 en donde se establecen metas y planes de acción para optimizar eficiencia, calidad y seguridad en las operaciones relacionadas con reparación, protección y fortalecimiento de concreto. Organizaciones participantes en la Visión 2020: ACI, American Concrete Institute, ASCE, American Society of Civil Engineers, ASA, American Shotcrete Association, ASCC, American Society of Concrete Contractors, ASTM, American Society of Testing and Materials, BRE (anteriormente Building Research Establishment), CRC, Construction Research Communications, The Concrete Society, ICRI, International Concrete Repair Institute, NACE

International (anteriormente National Association of Corrosion Engineers), PTI, Post-Tensioning Institute, SSPC, Society for Protective Coatings, USACE, United States Army Corps of Engineers.

2: El análisis petrográfico es el método más completo de evaluación y diagnóstico de causas raíz, ya que mediante microscopio petrográfico e incidencia de luz ultravioleta, polarizada o normal, permite determinar factores clave como: proporción de agregados y material cementante (porcentaje de aire incluido), tipo, forma y granulometría de agregados, naturaleza química del material cementante y posibles adiciones, grado de hidratación del cemento, adherencia entre la pasta de cemento y agregados, porosidad, presencia de materiales contaminantes, carbonatación, fenómenos de reactividad álcali agregado, fisuras, vacíos o intrusiones.



↑ a. Daños comunes en estructuras de concreto sumergidas y permeables, claramente debilitadas por alto grado de corrosión en el acero de refuerzo. b. Estructura enterrada bajo nivel freático, se usa mortero de reparación de rápido fraguado y sin contracción para aplicaciones verticales y sobrecabeza. TOXEMENT S.A.

normas ASTM *International*, ISO, UNE, DIN o, en Colombia, las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Estas organizaciones no sólo establecen múltiples clasificaciones en los diferentes tipos de materiales, sino que también definen con mucha claridad umbrales cuantitativos, instrumentos y métodos de ensayo, logrando unificar el idioma técnico y establecer criterios y comparaciones objetivas entre sí. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las organizaciones pueden variar la metodología de medición de una misma propiedad y, por lo tanto, los valores reportados en las hojas técnicas de los fabricantes no siempre son comparables entre sí. De allí la importancia de que cada uno de estos valores esté soportado en una norma técnica estandarizada en la industria.

Los participantes de un proyecto constructivo son conscientes de que no existe una solución universal para todas las posibles patologías del concreto. La labor del fabricante está en diseñar productos que maximicen los valores de las propiedades necesarias en cada proyecto sin sacrificar las demás y, claro está, que sean económicamente viables. Para esto, los avances en los últimos años vienen a un ritmo acelerado y de alta prestación. Así, hace tiempo los morteros de reparación dejaron de ser una simple mezcla de cemento hidráulico y agregados y se convirtieron en productos innovadores, de alta especificación, soportados por la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y optimizando sus propiedades según las necesidades de cada proyecto. El *Manual de Reparación de Concreto* en su guía ICRI No. 320.2R menciona algunas de las principales propiedades que tienen los materiales de reparación cementicios, según la Tabla 1.

↓ Tabla 1. Propiedades de materiales de reparación cementicios. BASADO EN GUÍA ICRI N° 320.2R

Propiedades del material de reparación Guía ICRI No. 320.2R			
Mecánicas	Dimensionales	Ligadas al tiempo	De Durabilidad
Resistencia a la compresión	Retracción por secado	Asentamiento / Fluidez	Permeabilidad
Adherencia	Módulo de elasticidad	Manejabilidad	Reactividad álcali agregado
Resistencia a la flexión	Coefficiente de expansión térmica	Tiempos de fraguado	Resistencia a la abrasión o impacto
Resistencia a la tensión	Deformación por carga (Creep)	Tasa de ganancia de resistencia	Resistencia a sulfatos

Modificación polimérica de propiedades mecánicas

El cemento y los materiales de reparación base cemento tienen, por sí mismos, excelente resistencia a esfuerzos compresivos; el problema real radica en la resistencia a otros tipos de esfuerzo como la tensión, la flexión o el cortante. Para mejorar estas propiedades mecánicas, un gran avance de la industria en los últimos años es la modificación polimérica. Este proceso puede hacerse mediante dispersiones acuosas en los materiales bicomponentes, pues en la comercialización común, los productos se componen de dos partes: por un lado, una dispersión polimérica junto con el agua necesaria para la mezcla, y el mortero seco con cemento, agregados y aditivos en polvo por el otro.

También existen tecnologías más modernas como polímeros redispersables en morteros secos, materiales que permiten manejar productos monocomponentes, que simplemente se mezclan con la cantidad de agua indicada por el fabricante, optimizando así el volumen en el transporte, almacenaje y disposición de empaques y, en muchos casos, mejorando el desempeño.

La cuidadosa formulación de morteros de alta especificación con modificación polimérica va más allá de la naturaleza química, que es por sí misma un amplio campo de estudio de interacciones intermoleculares, tamaños de partículas y de compatibilidad con el resto de los materiales en la formulación. Su adecuada selección permite aportar ventajas en materia de resistencia a variados esfuerzos, significativas mejoras en la adherencia y múltiples consistencias y nivelación o escurrimiento en los productos cementicios, generando así una amplia gama de opciones en el momento de seleccionar el producto idóneo según las condiciones de servicio.

Tiempo

Durante un proyecto de construcción el tiempo es siempre un factor a tener en cuenta, no solo por los plazos de la aplicación, sino por la rapidez en que se pueda dar servicio a una estructura. Los aditivos modificadores de fraguado, acelerantes, retardantes y modificadores de manejabilidad del concreto son ampliamente reconocidos en la industria, llegando incluso a ser tecnologías adoptadas por los materiales de reparación y llevadas a un nuevo nivel.

Además de las interacciones químicas de los aditivos acelerantes o retardantes durante la hidratación del cemento hidráulico tradicional, los fabricantes de materiales de reparación han optado por trabajar directamente de la mano con los fabricantes de cemento para obtener materiales de rápido fraguado y alto índice de ganancia de resis-



tencia. Hoy en día existen materiales con tiempos de fraguado reducidos a minutos que hacen que, en muchas ocasiones, los populares 28 días de curado se reduzcan significativamente, logrando resistencias cercanas a las finales en periodos mucho más cortos, generando que la eficiencia ligada al tiempo aporte mejoras sustanciales en los proyectos de reparación.

Consistencia, fluidez y manejabilidad

Los tradicionales modificadores de fluidez base naftaleno, lignosulfonatos e incluso superplastificantes tipo policarboxilatos, son de amplio uso en la industria concretera mediante aditivos líquidos. Dichas tecnologías son igualmente aplicadas en los materiales de reparación mediante su inclusión

↑ Acabado de piso industrial.
Proyecto American Industrial
Park, El Salvador.
TOXEMENT S.A.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y

↑ Estampado edificio Conecta,
Bogotá.
TOXEMENT S.A.



directa a la formulación en seco, y han permitido optimizar al máximo las relaciones agua-cemento de dichos materiales, generando mejoras en las propiedades mecánicas, estabilidad dimensional y demás propiedades finales del material ligadas a la hidratación del cemento.

Otras consideraciones

La lista de propiedades que se pueden optimizar en un material de reparación es suficientemente extensa como para que los fabricantes tengan múltiples opciones para modificarlas. Además de las ya mencionadas, que son de amplio uso y reconocimiento en el mercado, existen materiales que incluyen fibras poliméricas o naturales para mejorar la estabilidad dimensional del material y sus propiedades mecánicas. También es popular la adición de materiales hidrofóbicos que reducen la permeabilidad y absorción de agua. Así mismo, se emplean incluso aditivos de adherencia, reductores de permeabilidad, aislantes térmicos o eléctricos, agentes expansivos, puzolanas, arcillas, siliconas, nuevos agregados y reductores de polvo, entre otros, por lo cual exista un amplio catálogo que no se limita a las propiedades tradicionales, sino que busca día a día satisfacer las necesidades de los clientes y sus proyectos. La lista va más allá de las propiedades técnicas, pues los avances en el uso de nuevos materiales reciclables, la eliminación de materiales peligrosos y la reducción en la huella de carbono han dado a su vez una orientación ecológica a la industria.

Más allá del material

Más allá del material en sí, la variedad de elementos que interactúan en un proyecto de reparación es una lista que se prolonga a medida que se analizan los detalles como el ambiente que rodea la aplicación: temperatura, humedad, viento y demás condiciones ambientales; la manera como se almacenan los materiales, los equipos de mezcla, las herramientas usadas para la aplicación, la experiencia del aplicador o incluso la asesoría recibida, todos ellos factores que pueden afectar tanto el resultado como la propia elección del material de reparación.

Conclusión

Como se ha mencionado, los materiales de reparación son un completo mundo de posibilidades que los fabricantes reducen a un óptimo catálogo que satisface las necesidades de especificadores, arquitectos, ingenieros, diseñadores y clientes. Las posibilidades son extensas y dinámicas, siendo un mundo siempre abierto a nuevas opciones que dan respuesta al continuo avance de la ciencia aplicada a la construcción. 

Desde la normativa:

Reforzamiento estructural con fibra de carbono

Jorge Rendón. Ingeniero de Rehabilitación de Estructuras, Sika Colombia S.A.S.

Juan Gerardo Ramírez. RBS Project Manager LATAM, Sika Colombia S.A.S.



↑ Foto 1. Colocación de platinas de fibra de carbono en losa maciza.
SIKA

La construcción de estructuras en concreto reforzado está regida por normativas especificadas internacionalmente que incluyen la filosofía de diseño, el proceso constructivo y su supervisión. Así mismo, algunos países han desarrollado normativas o guías enfocadas en la rehabilitación de estructuras de concreto reforzado que presentan deterioro o para extender su vida útil.

La rehabilitación del concreto reforzado incluye tres aspectos fundamentales: reparación, reforzamiento y protección. El objetivo de la reparación es regresar la estructura a su condición original sin aumentar la cuantía de acero ni las secciones de los elementos estructurales, mientras que el reforzamiento estructural sí considera intervenciones de este tipo que pueden realizarse mediante el uso de alguno de los siguientes métodos:

1. Arriostramientos metálicos.
2. Pantallas en concreto reforzado.
3. Encamisado en concreto reforzado.
4. Encamisados en acero.
5. Platinas metálicas.
6. Adición de perfiles metálicos.
7. Contrafuertes.
8. Postensionamiento externo.
9. Disipadores de energía.
10. Aislamiento sísmico.
11. Materiales compuestos FRP (platinas/tejidos de fibra de carbono).

Materiales compuestos FRP

El sistema de reforzamiento estructural con materiales compuestos FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) actualmente es uno de los métodos más importantes en el mundo. El sistema FRP está conformado por fibras de gran resistencia a la tensión unidas a través de resinas sintéticas (usualmente epóxicas) para conformar un elemento laminado que da como resultado un sistema de reforzamiento muy eficiente. El objetivo de los materiales compuestos es aumentar la capacidad de carga de los elementos estructurales como vigas, losas, columnas y muros.

Las características principales del sistema FRP son:

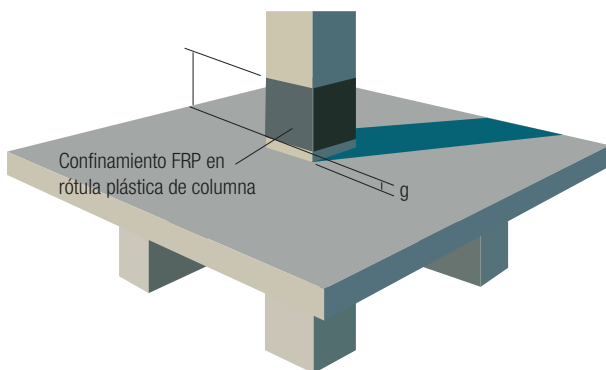
- Gran resistencia a la tensión: aproximadamente 7 veces más que el acero convencional usado en construcción, para el caso de platinas de carbono.
- Bajo peso: aproximadamente 5 veces más liviano que el acero.
- No se corroe: el FRP es un material sintético que no se corroe e incluso, puede ser aplicado en estructuras costeras.

En la actualidad se comercializan diferentes materiales elaborados con FRP como: platinas de fibra de carbono, tejidos de fibra (de carbono, vidrio y aramida), cordones de fibra de carbono y barras de fibra de carbono.

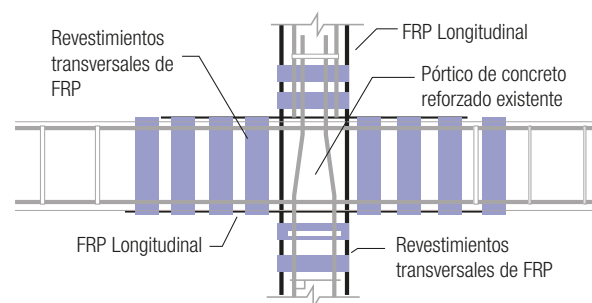
Las razones más importantes por las cuales se usa FRP para el refuerzo de estructuras son:

- Aumento de cargas verticales.** Estructuras como puentes, muelles y edificios pueden aumentar las cargas muertas y vivas para las que fueron diseñados originalmente.
- Deterioro en el tiempo.** El medio ambiente deteriora poco a poco las estructuras. Las construcciones costeras sufren en mayor medida a causa del ataque de cloruros presentes en las sales marinas. También son comunes los deterioros por fuego, impacto o explosiones.

Figura 1. Ilustraciones del reforzamiento de un nudo de un edificio con materiales compuestos FRP. ACI 440.2R-17.



Confinamiento en rótula plástica de columna



Detalle conceptual de reforzamiento con FRP (sección transversal en planta)

- Errores de diseño y construcción.** Son típicos los casos de estructuras construidas con concreto de baja resistencia a la compresión o con deficiencia en el acero de refuerzo.
- Actualización sísmica.** Colombia es un país sísmicamente activo y la mayor parte de su infraestructura está construida en zonas de riesgo sísmico alto e intermedio.

Normativa de diseño con FRP

Debido a las múltiples ventajas de los materiales compuestos FRP y al aumento que han tenido sus aplicaciones, en diferentes partes del Mundo se han desarrollado guías de diseño con el propósito de establecer criterios para el cálculo de las cuantías óptimas de FRP, considerando las condiciones reales de la estructura como sección, cuantía de acero, resistencia a compresión del concreto, cargas últimas de diseño y características o propiedades mecánicas del FRP.

Las primeras guías de diseño fueron publicadas en Japón en la década de 1980, y a finales de los 90 fueron traducidas al inglés para implementarlas en otros países. Estas guías consideraron casos de reforzamiento por aumento de cargas verticales y por sismo, mostrando detalles especiales en el anclaje del FRP al concreto a través de elementos metálicos o del mismo FRP.

Estados Unidos publicó su primera guía en 2002 con el ACI 440.2R-02, que fue actualizado en 2008 y 2017. Mientras tanto, los países europeos han desarrollado sus propias guías de diseño como la CNR-DT 200 R1(2014) de Italia; el reporte técnico 55 del Reino Unido TR55 (2012); la guía suiza SIA 166 (2004), entre otras. En 2001 la Federación Internacional del Concreto publicó la guía FIB 14, que ha sido adoptada por los países de la Comunidad Europea. Sin embargo, la Euronorma EN 1992-1-1 ha adoptado el documento TR55 de la Sociedad del Concreto del Reino Unido para el diseño con FRP.



◀ Foto 2. Muros de concreto reforzados con laminados de fibra de carbono, para aumentar su capacidad de soportar fuerzas cortantes durante un sismo.

SIKA



◀ Foto 3. Reforzamiento de una pantalla de concreto reforzado con las platinas de fibra de carbono.

SIKA

◀ Foto 4. Reforzamiento de los nudos de un edificio con un laminado de fibra de carbono.

SIKA

El uso del FRP en Colombia data de 1991, con el reforzamiento del puente Cocorná en la vía Medellín–Bogotá, desde entonces los ingenieros estructurales han seguido los lineamientos de diseño del Comité ACI 440. En la actual normativa colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 no existe un capítulo –al menos no hay mención– sobre el uso particular de los materiales compuestos FRP. Esto obedece, principalmente, a que la NSR-10, se enfoca más al diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado nuevas que a la rehabilitación o reforzamiento como tales. Sin embargo, es importante resaltar que el título 3, capítulo 2 de la Ley 400 de 1997, artículos 8, 9, 10 y, 11 y la Ley 1796 de 2016 que la modifica, consideran o permiten el uso de otros materiales y métodos alternos de diseño y construcción siempre y cuando el diseñador estructural demuestre con evidencia que la alternativa propuesta cumple los propósitos de durabilidad y resistencia, especialmente sísmica.

Ante la ausencia de una guía local (colombiana) o normativa vigente que avale el uso de los materiales compuestos FRP se han realizado numerosas investigaciones en universidades públicas y privadas que

han verificado y demostrado la eficiencia de estos materiales para el reforzamiento de estructuras de concreto y mampostería. Estas investigaciones incluyen tesis de grado, posgrado y magíster en Ingeniería Civil.

Como se mencionó, el ACI 440.2R-17 es la guía preferida por los ingenieros estructurales en Colombia y demás países de Latinoamérica en el momento de calcular la cantidad de FRP para el reforzamiento de estructuras de concreto reforzado. En su versión más reciente (2017) se incluyó el capítulo 13 (*Seismic Strengthening*) para el reforzamiento sísmico de estructuras, que hace referencia al reforzamiento con FRP de los nudos de la estructura (unión viga–columna), punto donde se concentran los esfuerzos más grandes (flexiones y cortantes) durante un sismo.

El estándar ACI 440.2R-17 delimita muy bien lo que se conoce como *nudo* en una edificación de concreto reforzado del tipo pórtico resistente a momentos. Se definen las longitudes de rótula plástica en las columnas, vigas y el lugar donde se instala el FRP que reforzará el nudo (ver la figura 1). Otra novedad que se incluye en el capítulo 13 de la norma ACI 440.2R-17, es el reforzamiento sísmico de muros de concreto reforzado. Edificaciones concebidas con sistema estructural de muros de cortante pueden ser reforzadas con materiales compuestos FRP, para aumentarles su capacidad de absorber fuerzas de corte generadas durante un sismo (ver la foto 2.).





← Foto 5. Reforzamiento de las columnas en un puente con un laminado de fibra de carbono.
SIKA

Los muros de concreto reforzado pueden verse sometidos a cargas fuera del plano o en su mismo plano. Para estos casos el FRP debe ser instalado en la dirección correcta de manera que tome las fuerzas de tensión, que es donde concentran su aporte. La foto 3 muestra un caso típico de platinas de fibra de carbono, instaladas en sentido vertical para el refuerzo de un muro de concreto reforzado donde absorbe las fuerzas de tensión generadas durante un evento sísmico.

Usos frecuentes del FRP

Como se ha mencionado, los materiales compuestos FRP se usan para el reforzamiento de estructuras de concreto reforzado. Sin embargo, su aporte también puede ser significativo en estructuras construidas con mampostería, madera, metal e incluso tuberías de conducción de petróleo y gas. Todas ellas absorben los esfuerzos de flexión, tensión, cortante o torsión en los elementos estructurales (vigas, columnas, muros).

Los ingenieros y arquitectos prefieren métodos de reforzamiento que no se vean, es decir, que en lo posible no modifiquen las dimensiones de vigas y columnas por ende, la estética de la estructura. Es ahí donde los materiales compuestos FRP (platinas y tejidos de fibra de carbono) surgen como una excelente opción. Algunos casos en que se puede considerar su aplicación son:

- **Reforzamiento de nudos.** El FRP se instala envolviendo la zona de las vigas y columna que llega al nudo mejorando su desempeño durante un sismo. No se presentan cambios de rigidez en las vigas y columna reforzadas con el FRP ni recrecimiento de las dimensiones del nudo. Adicionalmente, la instalación del FRP se hace en muy corto tiempo (foto 4).
- **Confinamiento de columnas.** El FRP se instala envolviendo la columna de arriba abajo con la fibra en el sentido de los estribos. De esta manera se logra un aumento en la capacidad de soportar cargas verticales, momentos por carga vertical y

cortante por sismo. Este uso es muy común en puentes tanto vehiculares como peatonales debido a la actualización de la normativa vigente, o por paso eventual de cargas sobredimensionadas (foto 5). En edificaciones suele ser usado cuando el concreto no alcanza la resistencia a compresión definida en el diseño.

En el caso de columnas rectangulares o cuadradas, existe una limitante en las dimensiones de sus lados que permita lograr un confinamiento apropiado. Uno de los lados no deber ser mayor a 90 cm y la relación del lado más largo dividido entre el lado más corto no debe ser mayor de dos.

- **Reforzamiento a flexión de vigas y losas.** Es uno de los usos más comunes gracias al aumento de las cargas verticales (peso propio o cargas vivas). Un caso típico es el cambio de uso: por ejemplo, una estructura originalmente concebida para funcionar con cargas habitacionales que será convertida en biblioteca presentará aumento de las cargas a las que va a estar sometida (foto 6).

→ Foto 6. Reforzamiento a flexión de una losa.
SIKA



→ Foto 7. Laminado de fibra de carbono para el reforzamiento a cortante de una viga.
SIKA



- **Reforzamiento a cortante de vigas.** Al incrementar las cargas verticales en una losa de piso, se aumentan los esfuerzos de cortante en los extremos de las vigas. Es muy común absorber estos esfuerzos cortantes envolviendo las vigas con un laminado de fibra de carbono. En estos casos, el material compuesto FRP puede ser instalado en forma de U en tres caras de la viga, sólo en las laterales o envolviendo completamente la viga (foto 7).



← Foto 8. Reforzamiento de los muros de concreto en un edificio, para aumentar su capacidad de soportar cargas producidas por un sismo. SIKKA

- **Reforzamiento de muros de concreto reforzado.** Normalmente se hace para mejorar el desempeño de los muros durante un sismo. Sin embargo, puede considerarse usarlo en caso de empuje de terreno o de aumento de nivel freático, por ejemplo (foto 8).
- **Reforzamiento de estructuras de mampostería.** En el caso de los edificios, el FRP se instala en muros de mampostería para aumentar la capacidad de soportar cargas de sismo (ver foto 9).
- **Casos especiales.** Otras estructuras diferentes a edificios y puentes (chimeneas, silos, tanques, etc.) también pueden ser reforzadas con materiales compuestos FRP para mejorar su comportamiento ante eventos sísmicos o para corregir deficiencias del concreto como pérdida de área efectiva del acero de refuerzo o daños generados por la operación. (foto 10)

→ Foto 10. Reforzamiento de una chimenea de mampostería, de 1925, con un laminado de fibra de carbono para mejorar su desempeño durante un sismo. SIKKA

↓ Foto 9. Muro de mampostería reforzado con tiras de un laminado de fibra de carbono en un edificio, para aumentar su capacidad a cargas de sismo. SIKKA



Conclusiones

Desde hace más de 30 años, a medida que avanza el conocimiento sobre los materiales compuestos FRP basado en el comportamiento de estructuras reforzadas con ellos y que crece el estudio permanente de sus propiedades en investigaciones de universidades e institutos de todo el mundo, también se amplían sus aplicaciones a nivel mundial.

La difusión y transferencia de conocimiento sobre estos materiales ha tenido un fuerte incremento en los últimos 10 años, a causa de lo cual varios países han incluido dentro de sus normativas las guías de diseño de FRP, lo que permite el uso más racional y acertado de los materiales compuestos.

Aunque en sus primeros años la aplicación de los materiales compuestos FRP estuvo concentrada en el reforzamiento de vigas y columnas de concreto y de estructuras convencionales, su aplicación se ha extendido a estructuras de madera, mampostería, metal y a elementos de concreto especiales como silos, chimeneas, tanques, vigas tipo I, concreto postensado, etc., para las que ya existen guías de diseño específicas.

A pesar de no estar incluidos en la normativa actual de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), las aplicaciones de estos materiales son cada vez más aceptadas en Colombia como una solución de alto desempeño comprobado, versátil y con una relación costo/beneficio incomparable frente a las soluciones tradicionales. 



www.asocreto.co 

Instituto del Concreto

Impulsa a nivel nacional e internacional la formación y capacitación, relacionada con la tecnología del concreto, su manejo, control y nuevos desarrollos a todas las personas que forman parte del sector de la construcción, por medio de seminarios, jornadas y visitas técnicas, así como cursos dirigidos a entidades, Gremios y Universidades.

CAPACITACIONES A LA MEDIDA

En los últimos **2 años** hemos llegado a mas de **30.000** profesionales del sector de la construcción en Colombia. Profesionales que se han formado en todos los temas de actualidad de la industria del concreto, a través de charlas y capacitaciones con el **Instituto del Concreto**.

El Instituto del Concreto organiza cursos, talleres, conferencias dirigidas a clientes y capacitaciones a grupos empresariales, con exclusividad de marca, para lo cual ofrece toda la operación.



Sede



Divulgación



Publicidad



Equipos



Telemercadeo



Desarrollo de imagen



Material técnico

Estas empresas han confiado en nosotros:



Más información en:

Instituto del Concreto - Asocreto Dirección: Calle 103 # 15-80 - Bogotá, Colombia

Teléfono: (57 1) 618 0018 Ext. 127 Correo: instituto@asocreto.org.co

Mantenimiento y recuperación de pisos con adoquines de concreto

Luis Alfonso Ortiz. Gerente Técnico.
Kreato

Fotos: Cortesía de Kreato

Una de las principales ventajas del uso de pisos articulados (adoquines, losetas) es la facilidad para el mantenimiento y el remplazo de piezas. Esto los hace atractivos cuando se trata de efectuar reparaciones o cambiar piezas deterioradas. Sin embargo, llegar hasta este punto no es lo ideal. Un programa de mantenimiento detallado y frecuente puede evitarlo y proporcionar un estado siempre agradable al espacio público que conforma.

Programas de mantenimiento

Todas las estructuras que están a la intemperie (prefabricados y elementos de concreto a la vista), deben someterse a mantenimientos preventivos a fin de conservar su estado y que no sufran deterioros en el tiempo. Esto debe realizarse con mayor razón cuando se encuentran ante condiciones ambientales severas como humedad constante, climas cálidos y lluviosos, sales por cercanía al mar, lluvias ácidas, altas concentraciones de CO₂, etc.

El mantenimiento preventivo es la primera etapa del cuidado de los pisos articulados y debe considerarse desde la etapa de diseño, cuando se especifican las características del piso. Los productores de los elementos deberían entregar al constructor un manual de mantenimiento y cuidados que contenga toda la información relacionada con la limpieza del prefabricado, para que no sufra daños. En ocasiones, por falta de estas instrucciones, los entes encargados del mantenimiento incurren en malas prácticas que, en vez de mantener y mejorar el producto, lo deterioran hasta dejarlo totalmente inservible.

Existen numerosos factores relativos a la periodicidad de las intervenciones que deben tenerse en cuenta al elaborar el programa de mantenimiento. Este análisis debe hacerse con la ayuda del fabricante, que conoce bien el comportamiento del elemento bajo diferentes condiciones.



↑ Foto 1. Adoquines peatonales y vehiculares en múltiples formatos y colores.

Entre las múltiples variables a contemplar, se sugiere analizar como básicas las siguientes condiciones:

1. **Color y tipología del tráfico.** La periodicidad en el mantenimiento se relaciona con el tono (claro, medio, oscuro) y el uso al que van a estar sometidas las piezas. Es lógico que los colores claros que soportan tráfico intenso van a necesitar un mantenimiento mucho más constante frente a los colores oscuros que soportan poco tráfico.
2. **Color y condición de uso.** De igual manera, un color claro en una zona comercial con espacio público ocupado por ventas ambulantes exigirá mantenimiento continuo y la aplicación de técnicas especializadas. Un color oscuro bajo estas condiciones necesitará mantenimiento menos frecuente con procedimientos básicos e intervenciones especializadas en lapsos de tiempo un poco más largos.
3. **Localización y climatología.** La localización de un proyecto está directamente ligada al clima y a las condiciones ambientales (calor, frío, humedad,

lluvias, polución, entornos marinos). Cuando las condiciones climáticas son especiales debe existir un programa de mantenimiento continuo a fin de preservar las condiciones no solo estéticas, sino físicas de las piezas. La humedad, las lluvias ácidas, la polución y los ambientes marinos, entre otros, son considerados factores especiales para las piezas de concreto.

→ Foto 2. Losetas grises y de color para uso peatonal en plazoleta. Clima templado.



Los programas de mantenimiento de adoquines y losetas para pisos articulados son sencillos, pero como ya se dijo, su periodicidad depende del análisis detallado que se haga de las condiciones de uso, localización, color y tráfico. Se presenta a continuación como ejemplo un programa de mantenimiento para adoquines color ocre en un conjunto residencial.

↑ Foto 3. Adoquín amarillo para uso peatonal en senderos. Clima cálido húmedo con lluvias constantes.

Programa de mantenimiento preventivo de adoquines de concreto

Uso del piso:	Andén residencial, conjunto cerrado
Tipo de tráfico:	Peatonal con repeticiones medias
Color:	Ocre
Localización:	Bogotá

Actividades	Mensual	Semestral	Anual
Reemplazo de piezas afectadas (de requerirse)			
Lavado básico general (agua, jabón, cepillo)			
Lavado especializado (aplicación de rinse)			
Sellado de piso (selladores superficiales)			
Resellado de juntas (relleno de juntas con arena) actividad puntual donde se requiera			

Dependiendo de la zona donde se apliquen, los programas de mantenimiento pueden incluir, entre otros, procedimientos como revisión de juntas, retiro de hierba y aplicación de aditivos a la arena de sello (productos anti-hierba y estabilizadores).

Es fundamental tener presente que el lavado con máquinas a presión (hidrolavadoras) ocasiona pérdida del sello en las juntas. De ser necesario aplicarlo, después del lavado se debe hacer una inspección visual para determinar cuáles juntas deberán ser sometidas a resellado.

Mantenimiento correctivo

Los mantenimientos correctivos en pisos articulados se presentan, por lo general, ante circunstancias ajenas al funcionamiento normal de los adoquines o losetas. En la mayoría de los casos, este tipo de mantenimiento se genera por manchas asociadas a múltiples condiciones de afectación (grasas, aceites, vegetación, pinturas, etc.) y en otros, a daños provocados por agentes externos como arrastre de objetos muy pesados sobre las piezas prefabricadas que producen rayaduras y surcos, o por impactos puntuales de objetos que las desportillan o las rompen. A continuación, se describen los tratamientos primarios sugeridos para enfrentar los casos más comunes y ver hasta dónde es factible hacer la corrección sin tener que reemplazar los elementos.

- **Goma de mascar.** Es uno de los problemas más comunes en los pisos de espacios públicos en todo el mundo, independientemente del material en que estén fabricados. Se recomienda retirar la goma de mascar con espátula y luego frotar de manera enérgica y repetida en la zona afectada (tono o color diferente) con un trapo humedecido en alcohol desnaturalizado. En algunos casos, la aplicación previa de hielo facilita la remoción de la goma con la espátula.
- **Manchas de arcilla.** Son marcas muy frecuentes cuando se hace el sellado de juntas en pisos articulados. Por lo general, las manchas de arcilla se evidencian por tonos amarillentos sobre las piezas. Esto se debe a que, durante el procedimiento, suelen utilizarse arenas con importante contenido de arcilla, de manera que las partículas de arena se cohesionan dentro de la junta. La mancha se elimina fácilmente frotando el piso con cepillos de cerdas plásticas en varios sentidos, utilizando preferiblemente agua caliente y jabones con pH neutro. Siempre es fundamental enjuagar abundantemente para retirar todos los restos de jabón.

- **Manchas y residuos de mortero.** En este caso existen dos tipologías: una es la mancha de mortero y la otra es el residuo del mismo. Las manchas de mortero son removibles mediante el lavado con rinse especial para concreto que no afecta la estructura de las piezas. Por su parte, los residuos deben retirarse con espátula evitando rayar la pieza, dado que esta operación le causa cierto impacto cuando el mortero está endurecido. Posterior al retiro del residuo se debe efectuar el lavado con rinse.
- **Aceites o grasas.** Los excesos se deben eliminar con trapos absorbentes para cubrir luego el área afectada con algún material absorbente como talco, aserrín de madera o arena con contenido silíceo. Es necesario dejar estos materiales durante 24 horas sobre la mancha antes de retirarlos. Las manchas de este tipo son de las que más se impregnan, por lo que es factible que quede alguna sombra donde se encontraba la afectación.



↑ Foto 4. Adoquín Colonial, vehicular con bajo tráfico. Mantenimiento frecuente.



↓ Foto 6. Adoquín ocre alto tráfico peatonal y contaminación por polución. Clima frío.

↑ Foto 5. Limpieza básica de adoquín color terracota sometido solo a tráfico peatonal y alta polución.



- **Pintura.** La pintura fresca debe limpiarse con trapos absorbentes, sin esparcirla. Si la pintura es a base de látex o de agua, se debe remojar y frotar el área con agua caliente, polvos quitamanchas y cepillo de cerdas plásticas. Las manchas leves que pueden quedar después del proceso se pueden tratar con disolvente para pinturas.

Cuando la pintura se encuentra en estado seco deben aplicarse disolventes comerciales (*thinner* o Varsol) sobre la mancha durante 30 minutos hasta ablandarla. Luego se retira la pintura con espátulas o cepillos de cerdas duras. El procedimiento se repite cuantas veces sea necesario.

- **Huellas de neumáticos.** Estas marcas son muy comunes en vías de tráfico vehicular, rampas de acceso a garajes y parqueaderos. En estos casos deben cepillarse las manchas con agua tibia y aplicar polvos quitamanchas.
- **Hojas, frutas, madera.** Estas manchas se presentan usualmente en plazoletas, andenes y zonas donde hay presencia de vegetación. En este caso se recomienda aplicar, antes del lavado, blanqueadores caseros y dejarlos actuar por unos 5 minutos; luego, frotar en varios sentidos con cepillos de cerdas plásticas rígidas y enjuagar con abundante agua tibia.
- **Manchas de grasa, comida, salsas.** Se presentan especialmente en zonas de comercio y ventas ambulantes informales. Se recomienda aplicar detergentes líquidos de características similares a los detergentes para lavar platos, y dejar actuar durante 30 minutos. Frotar luego con cepillo y enjuagar con agua caliente. La limpieza es más fácil si las manchas se tratan inmediatamente.

Es importante resaltar que en la limpieza de pisos de concreto articulado nunca se debe aplicar ácido, por disuelto que esté. Aunque retiran la mancha inmediatamente, por lo general estas soluciones continúan actuando en el tiempo y reducen la masilla de cemento dejando expuesto el agregado y en casos extremos, desprendiéndolo.

→ Foto 7. Adoquín colores Biblioteca de Chía.



Para estos mantenimientos siempre es recomendable contar con equipos profesionales de limpieza que tengan la correspondiente experiencia. Es importante no olvidar los siguientes puntos fundamentales:

- Siempre que se utilice un producto químico (rin-ses para concreto), lavar abundantemente con agua limpia antes y después del tratamiento, así como disponer el agua utilizada de manera que no alcance otras partes de la obra ni contamine fuentes hídricas de consumo.
- Una técnica incorrecta para la eliminación de cualquier tipo de mancha puede causar un daño permanente; por esta razón, cualquier propuesta de método de limpieza debe ensayarse en una zona pequeña y discreta, esperar al menos una semana y evaluar los resultados.

Cuando la afectación de la pieza es considerable, las áreas manchadas son grandes o se presentan daños estructurales del elemento, es indispensable evaluar las posibles intervenciones a realizar. En ocasiones resulta más económico hacer un reemplazo parcial que emprender un tratamiento que puede ser demorado, costoso y no arrojar los resultados necesarios.

Procedimiento para el reemplazo de piezas

1. Con la ayuda de una espátula, remover la máxima cantidad de arena posible de las juntas, de ser factible con aplicación de aire o agua a presión. Debe cuidarse que el procedimiento se aplique solo en las piezas a reemplazar.

2. Levantar la primera pieza usando las palancas adecuadas como espátulas o palustres o, si es el caso, con máquinas extractoras. El procedimiento para las demás piezas será más sencillo y se puede efectuar mediante palancas o patas de cabra.
3. Es factible que algunas piezas retiradas se encuentren en buen estado y puedan volver a utilizarse. En este caso, se debe retirar la arena de sello que esté adherida a sus paredes mediante un cepillado suave.
4. Se retiran las piezas con daños y se reemplazan por nuevas, efectuando de nuevo el sello de las juntas.

El mantenimiento correctivo debe considerarse únicamente ante eventualidades que afecten las piezas y que no son producto del uso normal o de las condiciones para las que fue especificado. El mantenimiento correctivo no es ideal para arreglar deficiencias de los mantenimientos preventivos. En este caso resulta mucho más costoso hacer la corrección que haber prevenido a tiempo el problema.

En años recientes, los elementos de concreto para pisos articulados han ganado importancia arquitectónica por la aplicación del color, diseños y formatos. Sin embargo, su continuidad y conservación dependen en gran medida de la manera como se preserven. Todos los actores del proceso —especificador, diseñador, fabricante y constructor— deben ser conscientes de los cuidados y mantenimiento que deben aplicarse y, en consecuencia, solicitar a los fabricantes capacitaciones sobre el producto, así como los correspondientes manuales de mantenimiento.

© ARCHIVO ASOCRETO



© ARCHIVO ASOCRETO



Planta de Cemento con Arquitectura. Edificio Administrativo de Kirchdorfer Zementwerk Kirchdorf. Austria

El bello edificio marcó un hito en la historia de la compañía Kirchdorfer Zementwerk, cuando en el 2007 trasladaron nuevamente sus oficinas principales al pueblo que los vio nacer 120 años atrás con una de sus plantas originales aún en funcionamiento. Buscando una imagen más positiva, la gran fachada exterior simboliza una cadena humana en concreto que representa la estrecha relación que existe, tanto entre nosotros, como con lo que nos rodea.





© ARCHIVO ASOCRETO

Refuerzo estructural: Concreto con fibra de ultra alto rendimiento

Adriano Reggia. Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectura, Suelos, Medio Ambiente y Matemáticas. Universidad de Brescia, Italia | UNIBS.

Giovanni A. Plizzari. Departamento de Ingeniería Civil, Arquitectura, Suelos, Medio Ambiente y Matemáticas. Universidad de Brescia, Italia | UNIBS.

Fotos y figuras: Cortesía de Universidad de Brescia, Italia | UNIBS.



Foto 1. Vista general del ensayo

La creciente edad de la infraestructura de transporte de concreto reforzado,

construida principalmente entre los años 60 y 70, se está convirtiendo rápidamente en un tema clave de discusión para el futuro desarrollo de las construcciones en muchos países¹. La intervención en estas estructuras, particularmente la de los puentes en carreteras, puede significar el reemplazo completo o un reforzamiento de los elementos y en ambos casos la premisa es la necesidad de una ejecución veloz debido a los elevados costos de la interrupción del tráfico. Durante las últimas dos décadas, el Concreto Reforzado con Fibra (CRF) se ha presentado en el mercado como una solución útil para diferentes tipos de estructuras nuevas¹ o para la rehabilitación de las existentes, con excelentes resultados, ya que presenta una mayor resistencia residual posterior al agrietamiento. La experiencia en todo el mundo ha permitido que el CRF ingrese a códigos estructurales de diferentes países del mundo, así como en el Código Modelo fib de 2010².

En la Universidad de Brescia, en Italia, se adelantó un trabajo de investigación sobre la aplicación de Concreto Reforzado con Fibra de Alto Rendimiento (UHPFRC, por sus siglas en inglés) para el fortalecimiento de pilares de puentes, que pueden representar en muchos casos prácticos, una solución rentable frente al reemplazo total de la estructura. El objetivo de este artículo es presentar el estudio experimental que demuestra la posibilidad de mejorar la respuesta sísmica de estos elementos con el uso de una capa delgada de UHPFRC alrededor del elemento (es decir, un revestimiento). Adicionalmente, la aplicación de una nueva capa de UHPFRC permite renovar la capacidad de las estructuras para resistir la acción del entorno, mejorando su durabilidad. Por lo tanto, la intervención de reforzamiento, que aumenta tanto la capacidad de carga de la estructura como la reducción de la tasa de deterioro futuro del material puede prolongar la vida útil de los elementos.

1: American Society of Civil Engineers, "2013 Report card for America's infrastructure", American Society of Civil Engineers, 2013.

2: Fédération Internationale du Béton. "fib Model Code for Concrete Structures 2010", 2012 [Volume 1, 350 pages, ISBN 978-2-88394-105-2; Volume 2.

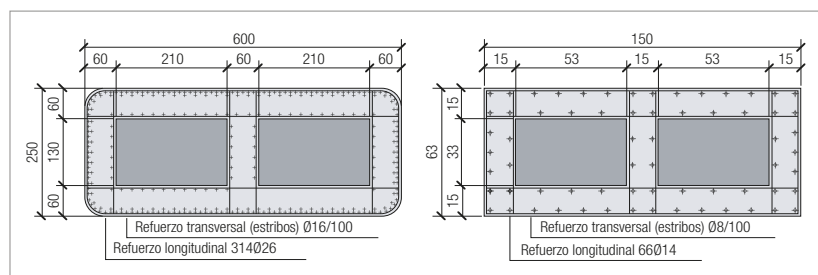


Figura 1. Sección transversal del pilar en la base: escala real (izquierda) y escala reducida (derecha). (Dimensiones en mm).

El pilar del puente de concreto reforzado que se estudió experimentalmente fue escalado a 1:4 y reforzado mediante la aplicación de una capa de 30 mm de UHPFRC alrededor del elemento. El objetivo principal fue desarrollar una estrategia de refuerzo integral que pudiera ser adoptada por ingenieros de construcción y profesionales para aplicaciones en campo, mientras que como objetivo secundario, se incluyó la evaluación del rendimiento sísmico del elemento reforzado mediante la ejecución de una prueba de carga cíclica.

Investigación experimental

Diseño de la prueba a escala

El espécimen de ensayo representa el pilar de un puente que tiene un comportamiento de deformación en curvatura simple. Las dimensiones del elemento se basan en un pilar típico de puente de 23 m de altura que soporta tres vigas cajón simplemente apoyadas (Figura 1). La capa de revestimiento de UHPFRC se diseñó para mejorar el comportamiento estructural del pilar del puente, considerado de bajo rendimiento para las nuevas condiciones de diseño de acuerdo con los requerimientos sísmicos. La capa de UHPFRC, con un espesor de 30 mm, se instaló alrededor del elemento de ensayo de concreto reforzado con la ayuda de formaleas ligeras. El área de la sección transversal del refuerzo es 113.100 mm², representando el 20,92% del área de la sección transversal del elemento existente. Se instaló un refuerzo optimizado (OR) a la nueva capa UHPFRC para restaurar la capacidad a tensión del UHPFRC en

Tabla 1. Resumen de los parámetros principales de diseño del ensayo.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	ESCALA REAL	ESCALA REDUCIDA
Escala		(1:1)	(1:4)
Área de concreto	A_c	9 385 960 mm ²	596 250 mm ²
Área de acero de refuerzo	A_s	164 588 mm ²	10 160 mm ²
Cuantía de acero de refuerzo	ρ_s	1,75%	1,70%
Espesor de UHPFRC	t_{UHPFRC}	120 mm	30 mm
Área de UHPFRC	A_{UHPFRC}	1 963 200 mm ²	113 100 mm ²
Área de refuerzo optimizada (OR)	A_{OR}	11 764 mm ²	2 941 mm ²
Cuantía de refuerzo optimizado (OR)	ρ_{OR}	0,40%	0,40%

la sección base. El OR, compuesto de 26 barras longitudinales de 12 mm de diámetro, espaciadas 100 mm entre ellas y recubiertas con una película de concreto de 10 mm de espesor, está diseñado para ceder cuando el UHPFRC alcanza su resistencia máxima a la tensión, proporcionando así ductilidad adicional a la sección. La relación de refuerzo, considerando tanto el elemento de concreto existente como la nueva capa de refuerzo, es igual a 2,10%, donde el OR se instala a lo largo de la zona crítica (1/3 de la altura del revestimiento) para finalmente ser anclado. Los principales parámetros de diseño se resumen en la Tabla 1.

Materiales

Se utilizó concreto de resistencia normal (NSC) hecho con cemento CEM II / A LL 32.5 R³, con una relación agua/cemento de 0,45 con contenido de Super Plastificante (SP) para el pilar del puente. El tamaño máximo del agregado fue de 10 mm.

El UHPFRC utilizado era autocompactante y fue fabricado con cemento CEM I 52.5 R⁴ con una relación agua/material cementante de 0,22, adicionado con puzolana, además del uso de aditivos Super Plastificantes (SP), Reductores de Contracción (SRA) y fibras corrugadas de acero inoxidable ($V_f = 1\%$) de 19 mm de largo y 0,13 mm de diámetro. El tamaño máximo del agregado fue de 4 mm de manera que se adaptara al espesor crítico de 30 mm del revestimiento. Los detalles de la mezcla de NSC y UHPFRC se describen en la Tabla 2. Las principales propiedades mecánicas y físicas de las mezclas de NSC y UHPFRC se determinaron experimentalmente siguiendo la siguiente normativa europea:

- (EN 12390-3: 2009). Resistencia a la compresión en cubos.
- (EN 12390-6: 2010). Resistencia a la tracción indirecta.
- (EN 12390-13: 2013). Módulo de elasticidad.
- (EN 14651: 2005). Tenacidad a la fractura.

MATERIAL	NSC	UHPFRC
Relación Agua/Material Cementante	0,45	0,22
Agregados	6,17	1,85
Adición Puzolánica	-	0,034
Contenido de Super Plastificante	0,035	0,030
Contenido de Reductor de Contracción	-	0,031
Fibras de acero	-	0,04
Tamaño máximo del agregado (mm)	10	4

Tabla 2: Composición de las mezclas de NSC y UHPFRC (relación en volumen frente al total de material cementante).

3: Norma EN 197-1 CEM II/ A LL 32.5 R: Cemento Portland con caliza, subtipo A, contenido entre 6 y 20% en masa de caliza, clase resistente 32.5 N/mm², alta resistencia inicial

4: Norma EN 197-1 CEM I 52.5 R: Cemento Portland, clase resistente 52.5 N/mm², alta resistencia inicial

5: Fabricado según normas D.M. 14/01/2008 Y A 35080

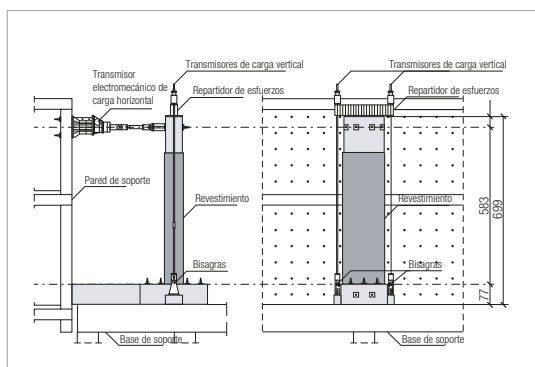


Figura 2. Montaje experimental de la prueba: vista lateral (izquierda), vista frontal (center), dimensiones en centímetros.

Las muestras de material fueron almacenadas en condiciones ambientales no controladas dentro del laboratorio de ensayos y cerca al pilar del puente. Se utilizó acero B450C⁵ prensado en caliente para los refuerzos del pilar y para su adición en el revestimiento OR.

Espécimen

El espécimen de prueba se construyó en el “Laboratorio Pietro Pisa” de la Universidad de Brescia en dos etapas.

- 1. Construcción de la muestra de ensayo.** El espécimen de prueba se vació horizontalmente sobre formaletas de madera, se curó durante 28 días y, finalmente, se ubicó verticalmente para ser probado. El levantamiento del elemento se realizó de manera que se garantizara que los esfuerzos de tensión generados por el movimiento fueran significativamente más bajos que la resistencia a tensión del material.
- 2. Aplicación del reforzamiento.** Antes de colocar la capa de UHPFRC, la muestra se lavó con chorro de arena a presión con el objetivo de obtener una superficie muy rugosa ($R_t \geq 3.0$ mm), así mismo, el OR se conectó a la base de la muestra mediante el uso de anclajes químicos. El UHPFRC se preparó en el sitio con la ayuda de una mezcladora planetaria, para posteriormente ser vertido en cuatro etapas utilizando formaletas deslizantes ligeras, donde, además, a través de las juntas frías, se incorporó refuerzo adicional local. Después de retirar los encofrados, el revestimiento se curó durante 7 días humedeciendo la superficie y envolviéndolo con una lámina de plástico.

Montaje del ensayo

El pilar del puente fue probado bajo una carga estática, unidireccional y cíclica a lo largo del eje menor de inercia (ver Figura 2). Se utilizó un transmisor electromecánico de carga horizontal con una capacidad de 1500 kN conectado a la pared de soporte para aplicar la carga lateral. Para la simulación de la carga de gravedad, se aplicó una carga vertical constante $V = 1000$ kN a través de un repartidor de esfuerzos de acero cargado por dos gatos hidráulicos conectados a la base de soporte a través de dos varillas de acero

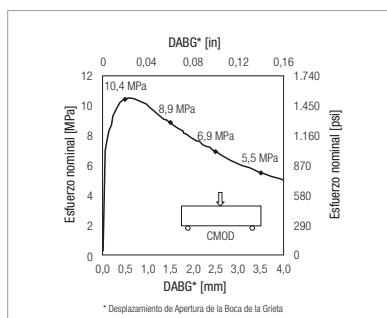


Figura 3. Curva de respuesta promedio del UHPFRC (3 especímenes) bajo flexión en tres puntos de acuerdo con EN 14651:2005.

Figura 4. Carga horizontal vs. desplazamiento del espécimen de referencia (a) y espécimen reforzado con curva envolvente (b).

Tabla 3. Propiedades mecánicas y físicas principales del NSC y el UHPFRC.

	NSC			UHPFRC
Edad (días)	28	210 (Primera Prueba)	270 (Segunda Prueba)	28 (Tercera Prueba)
Resistencia a la compresión (MPa)	42,5	48,4	49,5	136,3
Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	*	3,4	3,5	14,2
Módulo de elasticidad (MPa)	*	34 510	36 035	44 879

*Parámetros no medidos.

con bisagras. La carga vertical se diseñó estableciendo la relación $V / f_c A_c = 0,05$ con $f_c = 35$ MPa ($f_c = 0,83 \cdot f_{c \text{ cubo}}^6$) como resistencia nominal a la compresión. Se usaron diez varillas de acero postensadas para evitar la rotación de la cimentación en la base de soporte, dos barras postensadas (a tensión) y dos vigas en concreto reforzado (a compresión) para evitar el deslizamiento de la cimentación desde la pared de soporte.

Ejecución de la prueba

El espécimen fue cargado cíclicamente en sentido “norte-sur” bajo un protocolo controlado por relación de deriva. La deriva (θ) se definió como la relación entre el desplazamiento lateral (d) en el punto de aplicación de la carga horizontal y la distancia entre el mismo punto y la base del elemento (H).

Se realizaron dos pruebas: la primera, antes de ejecutar el reforzamiento, se realizó bajo cargas de servicio hasta el primer craqueo del elemento no reforzado (es decir, el espécimen de referencia) con una desviación máxima del 0.2%. La segunda prueba, se ejecutó después de la aplicación del refuerzo bajo las cargas máximas de diseño y hasta el fallo del elemento, con una desviación máxima igual a 3.4%. La primera prueba se realizó para simular el daño acumu-

6: Valor de resistencia a la compresión de un cubo de concreto

7: Norme Tecnica, “Norme tecniche per le Costruzioni”. Decreto Ministeriale, Official Gazette 29, 2008.

8: En la normativa europea, cuando un concreto se especifica como C25/30, el primer número hace referencia a la resistencia medida en cilindros como se hace en Colombia y el segundo número a la resistencia medida en cubos.

lado durante la vida útil del pilar del puente debido a los esfuerzos generados por viento, las fuerzas de inercia causadas por el movimiento de vehículos y actividades sísmicas inferiores al nivel de diseño. La segunda prueba se realizó con el fin evaluar el rendimiento sísmico del elemento después de su reforzamiento.

Resultados de la prueba y discusión

Propiedades del material

La Figura 3 y la Tabla 3 muestran los resultados de la prueba. La resistencia a la compresión del NSC se midió en el espécimen no reforzado, después de 28 días, para determinar el tipo de resistencia, después de 210 días al iniciar la primera prueba y, después de 270 días, al inicio de la segunda prueba sobre el espécimen reforzado.

La resistencia a la compresión, antes de la corrección, de los cubos ensayados ($f_{c,cubo}$) fue de 42,5 MPa, 48,4 MPa y 49,5 MPa respectivamente. Según el Eurocódigo 2⁷ el tipo de resistencia del NSC correspondía a C25/30⁸.

La resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta y el módulo de elasticidad del UHPFRC se determinaron experimentalmente después de 28 días, al comienzo de la segunda prueba (espécimen reforzado). Se encontró una resistencia a la compresión ($f_{c,cubo}$) de 136,3 MPa. Según el Eurocódigo 2⁸, el tipo de resistencia del UHPFRC fue el más alto: C90/105. La resistencia a la tracción indirecta fue de 14,2 MPa y el módulo elástico de 44,879 MPa. El comportamiento posterior al agrietamiento se examinó mediante pruebas de flexión en tres puntos de vigas con muescas. Las resistencias residuales a la flexión significativas para SLS⁹ (fR1) y para ULS¹⁰ (fR3) fueron de 10,4 MPa y 6,9 MPa respectivamente. De acuerdo con el Código de modelo 2010 (MC2010)², la clase de resistencia posterior al agrietamiento fue 5a.

Respuesta sísmica

La Figura 4 muestra la respuesta sísmica de en elemento sin reforzar y del mismo elemento reforzado, respectivamente. El espécimen de referencia se probó hasta una deriva $\theta = 0,25\%$, alcanzando una resistencia máxima de 100 kN en ambas direcciones. La carga correspondiente al primer craqueo del elemento de referencia se estimó en 70 kN, donde se pudo observar una desviación del comportamiento elástico. La respuesta sísmica fue simétrica con una deformación residual limitada al retirar la carga. El espécimen reforzado alcanzó una carga máxima de 451 kN durante el ciclo con deriva máxima $\theta = 3,4\%$. Mientras que en una dirección la carga lateral continuó creciendo hasta el final de la prueba, en

la otra dirección, la resistencia alcanzó un valor máximo de 407 kN durante el ciclo con deriva máxima $\theta = 1,7\%$ seguido por una reducción (-12%) a 360 kN con una deriva máxima $\theta = 3,4\%$. Después de alcanzar la deriva máxima, se observó el pandeo del revestimiento en la base del elemento.

Discusión

La respuesta estructural de la muestra de referencia (no reforzada) no se determinó experimentalmente del todo ya que la prueba se llevó a cabo únicamente hasta la carga de servicio. Por lo tanto, la respuesta estructural completa se simuló mediante un análisis no lineal, basado en la teoría seccional, estimado por la integración de la curvatura causada por el momento de flexión en el elemento (considerado como un voladizo con carga en su extremo sin apoyar).

La respuesta en general del espécimen reforzado fue mayor. La Tabla 4 resume la mejora en el rendimiento con respecto a tres índices: la fuerza horizontal máxima (H), el desplazamiento máximo (d) y la deriva máxima (θ). En particular, la carga final aumentó hasta un + 74% con respecto a la predicción teórica y el desplazamiento hasta un + 57%. La carga que determina el primer craqueo y rendimiento de los refuerzos de acero aumentaron hasta + 42% y + 90% respectivamente, con respecto a la predicción teórica.

Resumen y conclusiones

Basados en el estudio experimental aquí presentado, se concluye que:

- El revestimiento de bajo espesor de UHPFRC se ejecutó con éxito alrededor de un pilar de puente en concreto reforzado existente. Esta estrategia de reforzamiento puede adoptarse, como se ha probado, para aplicaciones de campo, tanto de pequeña escala como de gran escala.
- El revestimiento de UHPFRC mejoró la respuesta sísmica en el ULS¹⁰ del espécimen del pilar del puente en concreto reforzado. La carga final se incrementó notablemente con respecto al elemento no reforzado; por lo tanto, el revestimiento de UHPFRC se puede considerar en estudios posteriores como una posible técnica para la reducción de vulnerabilidad sísmica en pilares de puentes existentes.
- El revestimiento de UHPFRC mejoró también el comportamiento estructural en SLS⁹ del espécimen del pilar del puente en concreto reforzado. Además, el revestimiento de UHPFRC controló el daño que se produce para una intensidad sísmica inferior al nivel de diseño con un patrón difuso de micro craqueo.
- La vida útil de un pilar de un puente existente puede extenderse más allá de su condición inicial de acuerdo con los rendimientos estructurales para los que se diseñó y a los requisitos de durabilidad prescritos que pueden lograrse con el uso de revestimientos con UHPFRC.

9: "Serviceability limit state". Estado límite de capacidad de servicio. Para satisfacer los criterios de estado límite de capacidad de servicio, una estructura debe permanecer funcional para su uso previsto sujeto a carga (leída: todos los días), y como tal, la estructura no debe causar incomodidad al ocupante en las condiciones de rutina.

10: "Ultimate limit state". Estado límite último. Para satisfacer el estado límite último, la estructura no debe colapsarse cuando se somete a la carga de diseño máxima para la cual fue diseñada.

Experiencias en Latinoamérica

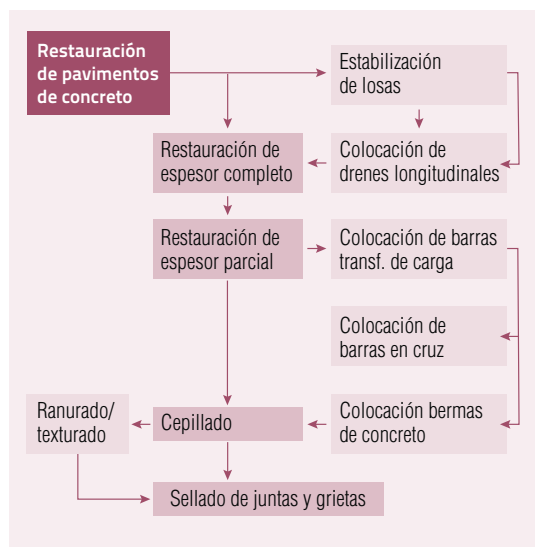
Rehabilitación de pavimentos de concreto con *Diamond Grinding*

Gabriela Eguiluz. EPAV, Chile

La rehabilitación de un pavimento de concreto debe comenzar con la restauración, y corresponde a una serie de técnicas desarrolladas para controlar los niveles de deterioro de los pavimentos de concreto. Esta práctica surge como una opción diferente al recapado asfáltico y se emplea para reparar áreas deterioradas específicas retornando el pavimento a una condición cercana o mejor que la original, reduciendo la necesidad de reparaciones mayores y más costosas.

Estas técnicas apuntan a mantener o mejorar la serviciabilidad del pavimento y pueden ser catalogadas como actividades preventivas o correctivas. Cada una está diseñada específicamente para reparar o prevenir la recurrencia de ciertas fallas o combinación de ellas, o para corregir una patología determinada. Aun cuando pueden ser empleadas individualmente, el resultado es más efectivo cuando se aplica una combinación de varias técnicas.

La secuencia de aplicación de estas técnicas se muestra en la figura 1.



El *Diamond Grinding* o cepillado de pavimentos de concreto es: **seguridad, confort y vida útil.**



Figura 1. Secuencia de aplicación técnicas de mantenimiento.
THE CONCRETE PAVEMENT RESTORATION GUIDE "TB020P", AMERICAN
CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. 1997

↑ Foto 1. Pavimento cepillado, superficie final.
EPAV S.A.

Actividad	Tipo de actividad	Objetivo
Estabilización de losas	Correctiva preventiva	Llenar pequeños vacíos debajo de la losa de concreto
Colocación de drenes longitudinales	Preventiva	Evacuar agua lluvia del pavimento.
Reparación de espesor completo	Correctiva	Arreglar losas agrietadas y juntas deterioradas.
Reparación de espesor parcial	Correctiva	Corregir deterioro de juntas y, grietas y fallas superficiales.
Cepillado	Correctiva preventiva	Extender la vida útil del pavimento; mejorar la resistencia al deslizamiento y reducir nivel de ruido.
Ranurado	Correctiva preventiva	Reducir accidentes en tiempo lluvioso. Evitar el hidroplaneo y aumentar la macrotextura.
Colocación barras de transferencia de cargas	Correctiva preventiva	Restaurar transferencia de cargas en las juntas y grietas transversales.
Colocación barras en cruz	Correctiva preventiva	Reparar grietas longitudinales y de esquina, de baja y media severidad.
Resello de juntas y grietas	Preventiva	Minimizar la infiltración de agua al sistema de juntas. Se sugiere sellar la unión berma-losa.

↑ Tabla 1. Técnicas disponibles para la restauración de pavimentos de concreto.
EPAV S.A

Por cada dólar que se invierta en **mantenimiento** se ahorran 3 ó 4 dólares en los costos de **rehabilitaciones futuras**.

Dentro de las técnicas de restauración de pavimentos de concreto, el cepillado o *diamond grinding*, se ha posicionado como una de las más importantes siendo ampliamente utilizado en USA desde la década de los 60. En Chile se comenzó a utilizar a fines de los 90 y a partir del año 2000 se extendió a Brasil, Panamá, Uruguay, Perú, Bolivia y México.

El cepillado aumenta la serviciabilidad y por ende la capacidad de soportar cargas al corregir el perfil longitudinal eliminando deformaciones, escalonamientos, alabeos de construcción, desniveles, etc., y a su vez, reduce el Índice de Irregularidad Superficial (IRI) a valores menores de 2,0 m/km. El mantenimiento preventivo, junto a un perfil longitudinal sin deformaciones permite duplicar y hasta triplicar la vida útil de un pavimento de concreto.

Es de gran importancia determinar la condición del pavimento sobre la que se debe ejecutar el cepillado. La experiencia chilena ha demostrado que la condición máxima aceptable sobre la cual se debe intervenir un pavimento es con un IRI 3,0 a 3,2 m/km. El valor final debería ser menor o igual a 2,0 m/km.

La duración del cepillado dependerá del nivel de tráfico pesado y del mantenimiento preventivo ejecutado. La experiencia en rutas con tránsito pesado de más de 2.000 camiones por día, ha demostrado que con un IRI después de cepillado menor a 2,0 m/km puede alcanzar valores cercanos a 3,2 - 3,5 m/km entre 10 ó 12 años.

Las ventajas del cepillado en pavimentos de concreto son:

- Prolonga la vida útil del pavimento porque elimina las cargas dinámicas de los vehículos pesados.
- Es efectivo en pavimentos de concreto de calles, carreteras y aeropuertos.
- Tiene menor costo y mayor duración que el recapado asfáltico (aprox. 35 - 45%). Al mismo tiempo, evita inconvenientes propios del asfalto como deformaciones y ahuellamiento.
- Aumenta la resistencia al deslizamiento y provee condiciones de seguridad. La superficie final tipo cotelé proporciona canales para que el agua se desplace bajo las ruedas, reduciendo el potencial de hidropelano.
- No altera el perfil transversal del pavimento, por lo que no es necesario efectuar cambios en las condiciones de drenaje.
- En combinación con ranurado, produce un aumento considerable de la macrotextura.

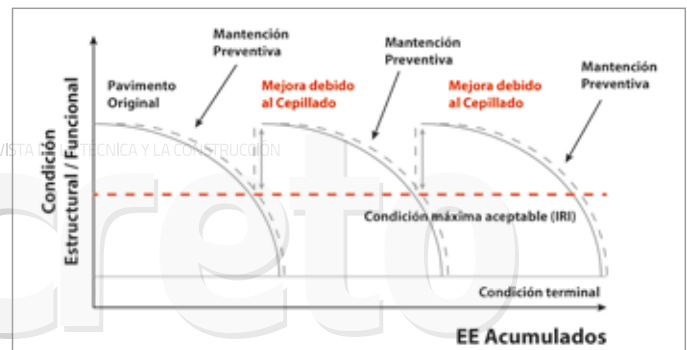
Efectos del cepillado sobre la superficie del concreto:

- Reducción del IRI en un 60% por pasada. Valores de IRI de 4,0 m/km se reducen a valores menores a 1,5 m/km.
- Reducción de espesor del concreto en promedio de 0,5 a 0,7 mm para el IRI mencionado en el punto anterior. Esto no afecta la capacidad estructural, pues se compensa con la reducción o eliminación de las cargas dinámicas producidas por el tránsito pesado.
- La fricción resultante medida con *Grip Tester*¹ es del orden de 0,44.

En pavimentos con IRI sobre 6,0 m/km y con capacidad estructural suficiente se pueden ejecutar 2 pasadas de cepillado.



↑ Foto 2. Cepillado y ranurado para aumentar macrotextura. EPAV S.A.



↑ Figura 2. Efecto Mantenimiento en la vida útil del pavimento. EPAV S.A.

Tal es el caso del Túnel Lo Prado en Chile, que con 30 años en servicio y con un IRI sobre 7,0 m/km se rehabilitó considerando reemplazos de losa, reparaciones de espesor parcial, cepillado en dos pasadas y finalmente sellos de juntas y grietas. El resultado final fue un IRI de 1,2 m/km. A la fecha se ha prolongado la vida útil en 18 años, proyectando 12 años más.

Con respecto a los costos, al comparar el cepillado con el recapado asfáltico (capa intermedia de 5 cm y una carpeta de concreto asfáltico de 6 cm), en una autopista con tránsito pesado y 10 km de longitud, el costo final del cepillado resultó ser 40% promedio del costo del recapado asfáltico.

Conclusión

El *diamond grinding* ha demostrado ser una técnica exitosa no solo en corregir el IRI y aumentar la vida útil del pavimento sino también en el incremento de la fricción (seguridad de los usuarios). Al ser utilizada en conjunto con el ranurado longitudinal se produce además un aumento importante en la macrotextura.

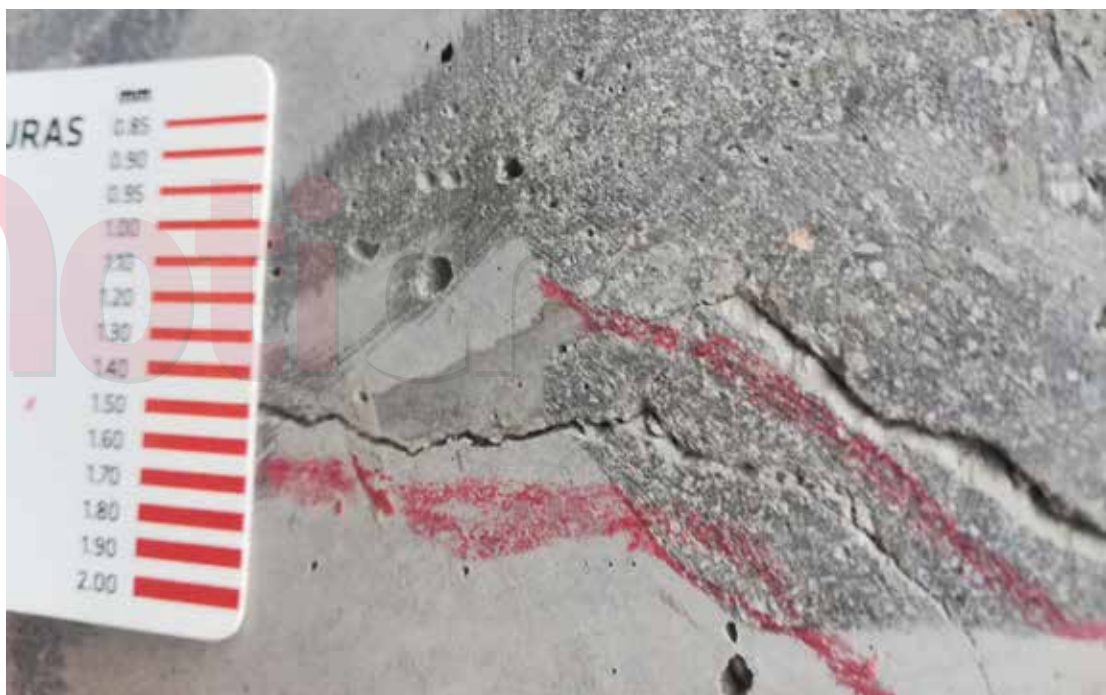
En Chile desde que se implementó el cepillado junto con las otras técnicas de restauración se han rehabilitado pavimentos de concreto de 20 y más años de construcción con ventajas competitivas frente al recapado asfáltico.

1: Equipo para la determinación de Índice de Fricción Internacional (IFI).

Ensayos para evaluar el estado de una estructura en concreto

Ing. Sandra Reinaguerra
Laboratorio del Concreto

Fotos: Archivo Asocreto. Laboratorio del Concreto - Sandra Reinaguerra.



→ Foto 1. Identificación de daños.

Pueden existir diversas razones para determinar que una estructura debe ser revisada para evaluar su condición estructural y de durabilidad, entre las que se encuentran:

1. La estructura está manifestando daño, se requiere mitigar sus causas y repararla para restituir su comportamiento estructural.
2. Se necesita prolongar el periodo útil de la edificación y prever la ocurrencia de daños futuros.
3. La estructura está cambiando de servicio y es necesario evaluar el comportamiento bajo el nuevo nivel de cargas de trabajo con el objeto de prepararla para que responda adecuadamente a

esa modificación y, adicionalmente, identificar y corregir el deterioro que haya podido sufrir para adecuarla al nuevo servicio.

4. Hay que investigar una estructura cuya construcción fue interrumpida y se desea reemprender; se necesita entonces evaluar el daño que hayan podido causar el tiempo y el medio ambiente al que ha estado sometida.

Es prematuro iniciar una restauración sin haber determinado las causas y la gravedad del deterioro, pues es posible estar cubriendo un daño sin conocer su verdadera dimensión, que es como dejar una semilla de daño que puede germinar en una posterior patología que afecte la estructura. Por

esta razón es preciso definir, planificar y analizar un buen protocolo de ensayos que brinde información suficiente sobre la verdadera condición de la estructura.

Para definir los aspectos a evaluar y los ensayos a realizar debe comenzarse por realizar una inspección visual que determine el aspecto general en el que se encuentra la estructura y proceder a realizar un “mapa de daños” (Foto 1), Inspección visual y levantamiento de daños) en el que se identifiquen las lesiones que se están manifestando visualmente. Esta información, sumada a las memorias de cálculo, planos, bitácoras o registros de cambios de diseño y de calidad de la obra, puede suministrar las pautas para que el patólogo pueda definir el esquema inicial de investigación, según el objetivo. Con los resultados obtenidos se debe planificar una segunda etapa de evaluación para confirmar o ampliar la investigación.

Al cruzar y analizar transversalmente toda la información disponible se define el esquema de ensayos, la manera como se correlacionan y la forma en la que estos

efectuar este tipo de ensayos y su respectivo análisis, pues serán fuente de información para decisiones importantes en la rehabilitación o evaluación del servicio de la edificación en el futuro.

A continuación, se presenta una relación de los ensayos que se encuentran disponibles para realizar evaluaciones de estructuras con distintos fines, una breve explicación y el tipo de información que brindan:

- **Determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto** (Foto 2) - ASTM C597. Es una metodología no destructiva que, con base en la velocidad a la que viaja una onda en un material, entrega información sobre él. Este ensayo no es un determinante de resistencia por sí mismo; es importante contar con curvas de calibración de materiales y diseños de mezcla, e igualmente revisar las condiciones de humedad de las estructuras, la colocación y otras condiciones del concreto para poder tener información más completa de lo que se quiere determinar. Establecer comparaciones puede brindarnos tendencias de comportamiento de dos o más estructuras al realizar un paralelo entre ellas, más aún si están construidas con la misma especificación de mezcla, hecha con la misma fuente de materiales y mecanismos de compactación igualmente eficientes, entre otros. Este tipo de determinaciones solo pueden realizarse cuando quien ejecuta y analiza los ensayos tiene la experiencia suficiente tanto en su uso como en su interpretación.



← Foto 2. Ensayo de ultrasonido.

→ Foto 3. Ensayo de núcleos a compresión.



resultados indican la necesidad de ensayos complementarios de corroboración que deben realizarse. La ASTM C823 puede servir de base para determinar el estudio que debe realizarse.

Los laboratorios de patología cuentan con una amplia gama de ensayos que permiten evaluar diferentes tipos de daño y llegar a determinar algunas causas. Sin embargo, es importante que los profesionales que realizan el estudio tengan experiencia y conocimiento para



← Foto 4. Medición de pH con fenolftaleína en núcleo.

- **Número de rebote del concreto endurecido – Esclerómetro** - NTP 339.181. Un ensayo no destructivo que brinda información general sobre la uniformidad del concreto colocado. Al igual que el anterior ensayo, no ofrece valores concluyentes ni de forma directa de la resistencia del concreto, pues para llegar a una conclusión a partir de él, se debe elaborar un esquema comparativo con estructuras de desempeño conocido con certeza, para cotejar los resultados en igualdad de condiciones frente al tipo de productos, la edad entre ellos (de preferencia similar) y los tamaños máximos del agregado. En este tipo de ensayo tiene gran importancia la calidad del sustrato en el que

se realiza la exploración debido a su incidencia sobre el resultado. Es una buena herramienta para determinar puntos para extracción de núcleos dado que, con base en la uniformidad de colocación y conociendo los sitios de interés del diseñador de la estructura, se pueden identificar fácilmente los puntos deseables que brinden información real sobre la resistencia general de la estructura. La tendencia del comportamiento de los puntos evaluados, la condición del punto de apoyo y la buena compactación del concreto juegan un papel importante a favor de un resultado tanto del esclerómetro como de la extracción de núcleos.

- **Ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas** (Foto 3) - NTP 339.059. Con la extracción de núcleos es posible obtener información diversa, como:

1. **Resistencia del concreto** (NTP 339.034). Para obtener esta información se debe contar con un mínimo de 3 núcleos por cada punto que el ingeniero estructural desee investigar. Los sitios de extracción se deben definir en los lugares críticos del sistema estructural y analizando la información inicial que haya podido suministrar un barrido con ultrasonido o esclerómetro.

2. Dimensiones de elementos estructurales como pueden ser los espesores de las placas.
3. Profundidades de carbonatación, evaluadas en un núcleo abierto longitudinalmente a partir de la valoración del pH del concreto con fenolftaleína. Al aplicar este químico, si el pH del concreto es menor a 9, el líquido mantiene su color transparente, indicando que existe carbonatación. En las zonas donde el pH es superior, se torna de color rosado brillante, indicando que el concreto está sano. Así, se puede establecer la penetración de la carbonatación midiendo, la profundidad hasta la coloración. Es importante tener en cuenta que un concreto sano tiene un pH entre 12 y 13.
4. Profundidad de las fisuras.
5. Determinación petrográfica del concreto. (ASTM C856) Esta prueba permite obtener en los núcleos información sobre el grado de hidratación de las partículas de cemento y las condiciones de sanidad del concreto, al identificar reacciones

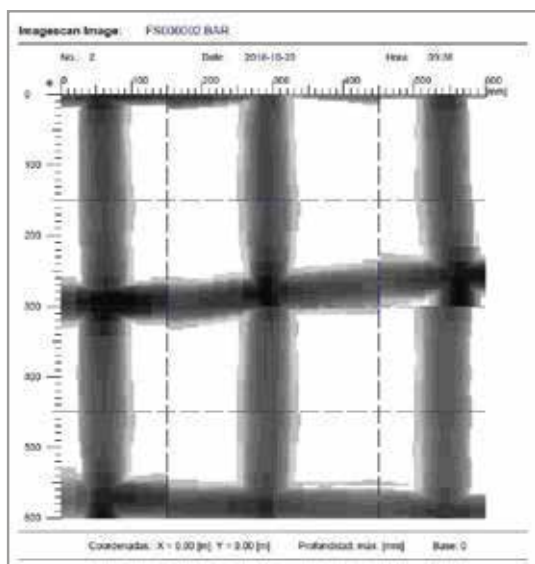


↑ Foto 5. Ensayo de permeabilidad a cloruros.

no deseadas en el material. También permite evaluar la reactividad y la distribución de los materiales de la mezcla, entre otros aspectos. Este es un ensayo que demanda gran experiencia del profesional que realizará la evaluación de la muestra.

6. Módulos elásticos sobre concretos instalados - ASTM C469. Esta es una información valiosa para el diseñador estructural, sobre todo si se requiere revisar cálculos y ajustar la estructura para un nuevo uso.
7. La profundidad de fisuras, la resistencia a la compresión y a la tracción indirecta en estructuras de un pavimento existente.

↓ Foto 6. Imagen de Ferroskan.



Como se ha descrito, una buena extracción de núcleos puede ser de gran ayuda porque permite obtener información que, bien correlacionada, establece conclusiones para la revisión estructural que, a su vez, permiten definir los tipos de reparación y sus respectivas preparaciones de superficie.

Otros ensayos como la **determinación de la permeabilidad del concreto al agua y la resistencia a la penetración del ion cloruro**, esta última bajo la norma ASTM C1202, (Foto 5), permiten determinar el grado de permeabilidad del concreto al agua a presión y a la penetración del ion cloruro, resultados importantes para evaluar la durabilidad de las estructuras.

En la construcción es muy común que, cuando se va a recubrir una superficie de concreto o de mampostería, se prepare con un agente de limpieza que pueden contener ácidos. Cuando no se remueve adecuadamente este tipo de agente limpiador, pueden dejarse residuos que afectarán la salud del concreto. Para evitar que queden residuos se puede realizar un chequeo de las superficies a través de una medición de pH bajo la ASTM D4262. Para el concreto es fundamental mantener el pH entre 12 y 13: cuanto más baje, existe mayor riesgo de oxidación sobre el acero de refuerzo.

En algunas circunstancias se requiere determinar o confirmar características del acero refuerzo presente en las estructuras ya construidas, indicando posición, diámetro y cantidad. En esos casos se recomienda utilizar **un radar de penetración terrestre (GPR)² complementado con un Ferroskan³** (Foto 6). El ensayo de GPR es aplicable para identificar tuberías embebidas en el concreto o instaladas bajo suelo, presentándose como un gran apoyo en los casos en que se requiere identificar estos elementos en obras existentes de las que no se tienen planos de redes. Esto permite evitar que, al momento de realizar una intervención, las tuberías sean dañadas.

El éxito de una investigación patológica y el consecuente programa de rehabilitación de una estructura es el resultado de contar con profesionales idóneos y el soporte de un laboratorio con amplia experiencia en ensayos especializados. 

2: Se trata de un método no invasivo de análisis de materiales basado en la transmisión de ondas electromagnéticas de banda ultra ancha. Una parte de la onda electromagnética se refleja cuando se alcanza un límite entre dos materiales con diferentes propiedades eléctricas permitiendo rastrear la ubicación de refuerzos. La señal reflejada se graba en la fuente de la onda EM y se muestra al operador junto con frecuencia registrada para su posterior análisis.

3: Sirve para detectar de manera sonora, visualizar, determinar la profundidad y estimar el diámetro de metales ferrosos, tales como varillas de refuerzo, y no ferrosos dentro de una armadura de concreto, como losas, muros, trabes, etc., mediante campo magnético. El escáner se mueve directamente sobre la superficie del elemento de construcción y los datos se almacenan en el escáner para transferirlos al monitor.

Monitoreo y rehabilitación de estructuras en concreto afectadas por asentamientos en Bogotá

Francisco Salazar F.
Salazar y Ferro

Mediante modelos teóricos es posible obtener cierto orden de magnitud de lo que serán los asentamientos elásticos que, por efectos de carga, presentará una edificación a corto plazo. Sin embargo, resulta muy complejo estimar la tasa de asentamientos que presentará por efectos de consolidación a largo plazo, más aún cuando la estructura está situada en una zona con un perfil geotécnico de arcillas blandas muy compresibles afectada por el fenómeno de subsidencia¹ por desecación progresiva, como es el caso de la sabana de Bogotá.

Aunque hay excepciones en que las medidas adoptadas no han tenido buenos resultados, es importante resaltar que las soluciones exitosas han sido fruto del trabajo integral de equipos profesionales de diversas empresas que se han formado en aspectos como la instrumentación, la definición del esquema básico de la intervención y su correspondiente ejecución.

Dependiendo del caso, las afectaciones en las estructuras pueden originarse por asentamientos totales, asentamientos diferenciales, o por combinación de ambos.

Desde el punto de vista geotécnico, estructural y aun funcional, lo ideal sería que los asentamientos totales permanecieran dentro del orden de magnitud previsto en los diseños. Todo esto depende, entre otros factores, del tipo de construcción. Si la construcción se asienta más a un costado que al otro, a la diferencia de asentamiento total se le denomina: asentamiento diferencial.

Los asentamientos totales muy superiores a lo previsto pueden causar problemas en los accesos de los edificios y en las acometidas de servicios públicos, entre otros. Los diferenciales singulares pueden ocasionar cambios de pendientes en desagües, afectar acabados y, dependiendo de su valor, comprometer la estabilidad misma de la estructura.



↑ Foto 1. Edificio en Bogotá afectado por asentamientos diferenciales.
HERNÁN PIMENTEL

Frente al control de asentamientos totales, uno de los grandes problemas en Bogotá es la difícil disposición de referencias estables cercanas que permitan monitorear satisfactoriamente el régimen de asentamiento total de las estructuras, no solo durante su vida útil sino también durante la fase de construcción de los proyectos.

¹: Conviene una urgente reflexión pluridisciplinaria en relación con la utilización del agua freática de la ciudad para cultivos de flores.

Subsidencia por desecación progresiva

El fenómeno de subsidencia de la Sabana se origina por la desecación progresiva e irreversible de las capas superiores de arcilla y resulta del efecto combinado de la extracción de agua en los acuíferos inferiores para cultivos de flores, de la menor infiltración de agua por expansión de la urbanización y de la menor recarga de los mantos arenosos por deforestación de los cerros circundantes.

Esta subsidencia se incrementa en determinados sitios de la ciudad por la existencia de vegetación de origen foráneo (eucaliptos, por ejemplo), y por la infiltración de agua hacia los sótanos de parqueo donde –en general, y salvo proyectos recientes especiales– el agua infiltrada no se devuelve al terreno como debe ser, sino que se conduce mediante bombas eyectoras al sistema de alcantarillado.

La subsidencia se ha vuelto tan crítica en ciertos sitios de la ciudad que ya no solo está alterando los estratos superiores y, por ende, las estructuras cimentadas superficialmente en estos estratos, sino que ya afecta estratos mucho más profundos a los edificios cimentados sobre estos mediante pilotes, por un efecto que se denomina fricción negativa, donde el suelo que se deseca se asienta y empuja hacia abajo los pilotes que están en contacto con él.

A pesar de la gravedad del fenómeno de subsidencia por el impacto sobre la urbanización, hay muy pocos sitios de la ciudad sobre los cuales se dispone de información precisa, como en el sector del piedemonte, en el cual las tuberías de red matriz provenientes de Chingaza pasan de estar apoyadas en estratos muy competentes de areniscas y arcillolitas a estar apoyadas en la formación lacustre.

Asentamientos diferenciales

Salvo para proyectos especiales donde se han instalado referencias altimétricas (o BM's) ancladas a gran profundidad, en general los registros de los controles topográficos infortunadamente no corresponden a asentamientos totales ni a asentamientos diferenciales. Se trata, simplemente, de incrementos relativos de asentamientos respecto a una fecha inicial en que se instalan una serie de niveletas en determinadas columnas y muros. Con frecuencia, las niveletas son insuficientes en número y grado de exhaustividad, o todas están situadas a una misma cota, independientemente de que la construcción haya padecido o no asentamientos anteriores a esa fecha de referencia.

Los incrementos en asentamientos relativos también pueden obedecer a que las referencias externas, como las placas del Instituto Geográfico, también se han visto afectadas por el fenómeno de subsidencia por desecación.

Todo lo anterior explica la razón por la que, de no tenerse en cuenta estas consideraciones, los registros topográficos de asentamientos pueden llevar a falsas conclusiones como que las estructuras se levantan en

vez de asentarse lo cual, en general, no es cierto. El levantamiento de edificaciones es excepcional, pero efectivamente ha ocurrido en Bogotá en edificios de parqueaderos sin superestructura, en los cuales el peso de la estructura resulta despreciable frente al peso de la tierra excavada.

Es por estas razones que en perfiles geotécnicos como el de la sabana de Bogotá, para estructuras afectadas por asentamientos –en particular si son antiguas– solo es posible establecer con el mismo pobre nivel de precisión durante la construcción, el régimen de asentamientos diferenciales obtenidos por simple resta aritmética y que, por tanto, resultan independientes de la referencia.

Conviene insistir en la importancia de conocer el estado de los asentamientos de la edificación, pero también en establecer las variaciones que han tenido estos asentamientos en el tiempo y en todas las direcciones. No siempre se logra en corto tiempo porque, además, las tendencias pueden cambiar con los años, dependiendo de eventualidades externas como, por ejemplo, una excavación profunda cercana.

Que un edificio se asiente con el paso del tiempo de manera diferencial no necesariamente significa que exista una afectación estructural. De hecho, muchos edificios construidos en Bogotá se han asentado siguiendo la conformación de un simple plano inclinado, sin deformación interna alguna de la estructura. En casos más complejos, la estructura no solo se ha inclinado, sino que se ha deformado internamente. Dependiendo de su magnitud, la deformación puede llegar a comprometer la estabilidad de la estructura.

Muchas construcciones afectadas por asentamientos diferenciales en la ciudad son anteriores a la Norma Sismo Resistente NSR-10 y no se les puede aplicar lo estipulado, que consiste en limitar las derivas de las estructuras para evitar daños mayores en los acabados. Sin embargo, los topes permitidos en términos de distorsión angular (numeral H.4.9.3 de la Norma) pueden

↓ Foto 2. Medición de asentamientos diferenciales con niveles hidráulicos.
FRANCISCO SALAZAR



resultar de cierta utilidad para calificar los grados de inclinación y deformación interna de la estructura y, por ende, la decisión sobre la conveniencia o no de efectuar determinada intervención.

Aunque hay casos de edificios que no cuentan con plataforma y se han inclinado, también existen muchos ejemplos de edificios afectados por asentamientos diferenciales en que la estructura está compuesta por una torre de varios pisos y una plataforma circundante de menor altura y, por lo tanto, de menor peso y con una estructura de cimentación diferente a la de la torre. En lo correspondiente a edificios anteriores a los años 90, la torre cimentada superficialmente² ha tendido a asentarse en el largo plazo con una tasa mayor que la correspondiente a su plataforma alledaña, mucho más liviana. Por el contrario, para edificios de los años 90 y posteriores cimentados sobre pilotes de concreto reforzado que trabajan por fricción³, la plataforma, por lo general cimentada superficialmente, a pesar de su baja carga tiende a asentarse a mayor tasa que la torre. En ambos casos, los asentamientos diferenciales que suceden entre torre y plataforma pueden acarrear problemas no solo a nivel de acabados sino también de estructura cuando existe, además, continuidad estructural entre la torre y la plataforma.

Sin embargo, el problema de edificios afectados por asentamientos no solo se presenta en la zona lacustre de arcillas blandas en Bogotá o en edificios de cierta edad; se han presentado también en edificios en construcción con más de 18 pisos localizados en zonas de piedemonte, apoyados sobre pilotes que trabajan en parte por punta apoyada en areniscas y arcillolitas que subyacen bajo la formación lacustre.

El presente artículo se refiere al caso de Bogotá, aunque esto no significa que se trate de una misma tipología frente a los asentamientos y tipos de cimentaciones y, menos aún, que cualquiera de las metodologías de solución ilustradas más adelante sea aplicable indistintamente a cualquier estructura afectada por asentamientos en la ciudad.

Casos de estudio

Un CAI

Comenzaremos por un caso elemental reciente, la inclinación de una construcción muy pequeña y de una sola planta. Se trata de un CAI (Comando de Acción Inmediata de la Policía), localizado en un parque que se ladeó singularmente; cuyo ejemplo puede ayudar a evitar la confusión usual que existe entre lo que es un problema de capacidad portante y un problema de asentamiento.

Por malas que sean las características mecánicas del suelo en el sitio, el área de la losa de cimentación y la carga de la estructura son tales que, de manera muy sencilla, se comprueba que no existe problema alguno de capacidad portante. Entonces, si no hay problema de capacidad portante, ¿por qué se inclinó el CAI? Una respuesta inicial podría ser que el CAI fuera más pesado del lado que más se asentó, es decir, que el centro de gravedad de la estructura no coincidiera con el centroide del área de cimentación.

Conviene subrayar que esa excentricidad que resulta cuando una edificación pesa más de un lado que del otro es la causante de la inclinación de un sinnúmero de casos en la ciudad, empezando por los edificios en serie de la calle 80 en los que, por razones arquitectónicas (numerosos muros divisorios en el costado de alcobas y servicios, frente a los que quedaron en el costado del área social), se ha generado una inclinación progresiva a lo largo de todos estos años, que ya se tornó crítica.

En términos de solución de problemas, cuando una edificación se inclina porque pesa más de un lado que de otro, la verticalidad se puede restablecer colocando suficiente contrapeso del lado menos asentado y/o implementando tensores verticales descendentes en este mismo costado. Ambos procedimientos se aplican en intervenciones efectuadas en la ciudad, como se muestra más adelante.

Si bien las cimentaciones superficiales son cada vez menos frecuentes en Bogotá en razón a su vulnerabilidad frente a asentamientos, al optar por esta cimentación para



Foto 3. CAI de Policía en Bogotá.

WIKIPEDIA

un nuevo edificio es necesario verificar previamente que no exista excentricidad de ningún tipo en la estructura, lo que puede ser tema de discusión entre el ingeniero y el arquitecto.

Una plataforma dispuesta solo a un costado de una torre y vinculada a ella estructuralmente puede hacerla inclinar, aunque las cargas de la torre estén centradas respecto a su área de cimentación. Esto también puede presentarse en el caso de torres piloteadas, como sucedió en un conjunto de edificios de singular altura localizados alrededor de una plataforma central vinculada estructuralmente a las torres, donde una de las soluciones adoptadas consistió en generar una plataforma “flotadora” del costado opuesto a la plataforma central.

Igualmente, un espesor singular de relleno compactado dispuesto bajo un edificio, pero extendido solo en uno de sus costados (una técnica de cimentación muy utilizada en la ciudad en los años 80), puede hacer que el edificio se incline hacia el costado opuesto, aunque el centro de cargas del edificio coincida bastante bien con el centroide del área de cimentación.

En el caso del CAI, la construcción se inclinó en una dirección en la cual había simetría perfecta de la estructura, por lo cual quedaba descartado cualquier argumento relacionado con la excentricidad. En este ejemplo simple conviene aclarar que existe una confusión muy frecuente relacionada con el tema, y es el hecho de que la inclinación se produce únicamente porque uno de los lados de la construcción se asienta y el otro no. En construcciones cimentadas superficialmente sobre perfiles geotécnicos como este, ningún costado de la edificación conserva su nivel. En tales casos, un costado se asienta más que el otro, lo que resulta bastante útil en términos de solución del problema, pues si por algún procedimiento se logra reducir la tasa de asentamiento del costado más asentado a una tasa inferior a la correspondiente al costado menos asentado, la construcción necesariamente tenderá a enderezarse con el tiempo.

Lo anterior resume la metodología aplicada en gran cantidad de intervenciones, pero que no resultaba viable en el caso del CAI, debido a que la inclinación

2: Estas cimentaciones incluían a veces pilotes de madera destinados a reducir asentamientos, que en muchos casos se han descompuesto por el cambio de humedad de la zona producto de la subsidencia.

3: Los pilotes de fricción, muy comunes hoy en día, solo se utilizaron en Bogotá después de haberse comprobado su efectividad en los puentes de la ciudad construidos por firmas foráneas a principios de los años 80.

era demasiado notoria e incómoda y urgía una pronta solución para el servicio de policía de la zona.

Muchas intervenciones ejecutadas en edificios cimentados superficialmente en Bogotá han consistido en trasladar las cargas de las zonas más asentadas a estratos más profundos mediante micropilotes hincados o preexcavados de tal manera que se reduzca la tasa de asentamiento en este costado y que, en determinado tiempo, el otro costado se asiente por combinación de gravedad y subsidencia.

Infortunadamente, en cuanto al plazo necesario para que una estructura recupere su verticalidad por simple gravedad y subsidencia, es necesario indicar que una vez piloteada la zona más asentada, se debe esperar cierto tiempo a que se dé un asentamiento adicional de este costado, ya de por sí bastante asentado, de manera que se produzca el acortamiento elástico de los pilotes para que comiencen a trabajar en toda su longitud.

También conviene indicar que, con el tiempo y en algunos casos, los asentamientos han tendido a tornarse asintóticos en el costado inicialmente más asentado, pero sin mayor recuperación de la verticalidad. Por el contrario, en otros casos las construcciones han recuperado su verticalidad en el mediano plazo, obligando a proceder con una segunda fase de pilotaje correspondiente al costado que en un principio se encontraba más asentado, todo lo cual se convierte, paradójicamente, en problema mayor en el caso de copropiedades que ante la dificultad para recaudar el dinero correspondiente a esta segunda intervención, ven que el valor comercial de sus predios se deteriora cada vez más por cuestiones relacionadas con asentamientos hacia el costado opuesto, tal como sucedió con el edificio en la calle 100, al occidente de la carrera 9. En la actualidad el edificio está inclinado hacia el occidente, pero en un principio, y a causa de la excavación profunda que se ejecutó por el oriente, se inclinó hacia ese costado. Por esta razón se colocaron pilotes al costado oriental que permitieron que el edificio recuperara su verticalidad, pero posteriormente contribuyeron al asentamiento singular hacia el costado occidental que se observa en la actualidad, lo que obligó a ordenar la demolición por daños en las columnas. Todo esto se habría podido evitar de haberse ejecutado a tiempo una segunda fase de pilotaje en el costado inicialmente más asentado.

Retomando de nuevo el caso ilustrativo del CAI, la explicación más probable de su inclinación puede ser la presencia cercana de grandes árboles que desecaron el suelo bajo la construcción en este costado, aunque también pudo haber influido, aunque en menor proporción, la proximidad de un canal de aguas lluvias cuyas paredes en concreto pueden tener cierta permeabilidad que facilita un drenaje asimétrico del suelo bajo el CAI hacia este costado. Algo similar sucedió con un edificio cimentado superficialmente, cuya verticalidad tuvo que ser corregida al presentar asentamientos diferenciales singulares por

cuenta del drenaje asimétrico causado a través del parqueadero subterráneo del mismo proyecto colindante por el costado del edificio hacia el cual se inclinó.

Varias construcciones cimentadas superficialmente en cercanía a estos canales de la ciudad presentan asentamientos diferenciales de consideración debidos, en algunos casos, al agua que se pierde a través de la pared del canal, y en otros, a la estrangulación de la sección transversal de los canales a causa de los suelos blandos. No olvidemos que un canal está constituido por dos taludes bastante pronunciados y de precarias condiciones de estabilidad.

En cuanto a la solución de problemas de asentamiento, si una construcción se inclina a causa de drenajes asimétricos y/o por desconfinamiento lateral del suelo y se pretende corregir su verticalidad, se puede generar la inclinación hacia el costado opuesto cavando una zanja profunda a ese costado que induzca el drenaje asimétrico y el desconfinamiento lateral del suelo bajo la construcción. Este procedimiento es de aplicación común en varias intervenciones en Bogotá.

En cuanto a los árboles en el ejemplo del CAI: la poda o eliminación se descartó desde un principio por hallarse en un parque muy concurrido, pero siempre conviene sopesar el impacto ambiental con el daño a la edificación por cuenta de un árbol cercano, sobre todo cuando la afectación amenaza la estabilidad misma de la construcción.

Para cerrar el tema del CAI, la solución implementada consistió en reaccionar sobre la estructura misma, complementando con una sobrecarga consistente en módulos de pilotes para hincar por secciones con gato hasta una profundidad en la cual el efecto de fricción negativa por subsidencia fuera menor. Después de un tiempo prudencial, al tratarse de suelos cohesivos donde la carga de hinca resulta más o menos la mitad de lo que aguanta el pilote hincado y una vez disipado el aumento de presión de poros, entre otros efectos generados durante el proceso de hinca, se reacciona sobre los pilotes para re-nivelar la estructura con una serie de herrajes y gatos hidráulicos, monitoreando permanentemente todo el proceso con alta precisión para comprobar que las operaciones no causaran deformaciones internas de la estructura.

Edificio carrera 15 con Calle 80

El segundo caso ilustrativo que permite explicar algunas alternativas de solución, corresponde a un edificio que se inclinó en la carrera 15 con calle 80 durante un fin de semana en los años 70 debido a la excavación para construir el edificio vecino. Para detener la inclinación del edificio afectado y enderezarlo, se instaló una serie de palancas de gran dimensión que ocupaban todo el lote de la nueva construcción, apoyadas sobre pilotes muy cercanos al lindero, a fin de obtener el mayor brazo de palanca posible. Aunque el edificio no siguió inclinándose, nunca fue posible enderezarlo y ambas propiedades quedaron inutilizables por varios años hasta cuando un inversionista las adquirió, se propuso enderezar el edificio y aprovechar el lote vecino para ampliar la construcción.

La metodología empleada por el nuevo equipo de profesionales a cargo consistió en reducir significativamente el peso del edificio inclinado demoliendo muros y sobrepisos antes de aplicar carga con gatos hidráulicos de gran capacidad que reaccionaran sobre los pilotes existentes bajo las palancas. Todo esto suponía el retiro previo y cuidadoso de las palancas cuyo trabajo se desconocía, monitoreando permanentemente a través de un Comparador Hidrostático de Niveles instalado en el edificio inclinado, un sistema de instrumentación que ya se utilizaba con éxito en el descenso de cajones controlados y que permite registrar a escala y en tiempo real, de manera simultánea en tres dimensiones y en obra, los niveles relativos de todos los puntos de control que se desee. Una vez retiradas las palancas, cuyo efecto sobre el edificio inclinado resultó marginal, no fue posible levantar ese costado con los gatos hidráulicos, como se había previsto, a pesar de haber aplicado una carga total muy superior a la requerida. Es muy probable que el fracaso de esta nueva intervención haya obedecido a cierto efecto de succión que se produce durante el contacto entre la cara inferior de la losa de cimentación y el suelo subyacente.

Para cumplir el compromiso de enderezar el edificio se definió un nuevo método inspirado en los cajones controlados que se venían hincando a principios de los años 80. El procedimiento consistió en debilitar la cimentación del costado menos asentado demoliendo las muy delgadas placas sobre y bajo los casetones de tal manera que el edificio quedara soportado en el costado menos asentado, únicamente sobre los nervios estructurales correspondientes a las vigas y viguetas entre casetones, bajo las cuales se realizó posteriormente una excavación diferencial de menor espesor, mientras que del lado más asentado, el edificio quedaba apoyado sobre la totalidad del área de cimentación. El edificio empezó a enderezarse, pero el ritmo de recuperación de la verticalidad resultó demasiado lento, obligando a implementar anclajes geotécnicos verticales profundos del costado menos asentado, similares a los utilizados para timonear el descenso de los cajones controlados. Con esto se logró que el edificio se asentara de este costado y recuperara su verticalidad en un tiempo prudencial.

Desde entonces esta metodología se ha vuelto a utilizar con éxito en Bogotá en varios casos de cimentaciones sobre losa flotante, combinando en algunos casos la carga vertical descendiente de los anclajes geotécnicos con lastre, dispuesto en el costado inicialmente menos asentado, con la excavación de zanjas profundas y lloraderos verticales en el mismo costado para inducir el asentamiento por consolidación mediante un efecto combinado entre carga y drenaje. Conviene subrayar que, en casi todas las losas aligeradas intervenidas, los casetones se han encontrado llenos de agua, lo cual significa que existe una carga adicional en términos de asentamientos, sobre todo si tenemos en cuenta que el agua tiende a acumularse donde el edificio está más asentado y donde es frecuente que no haya pozos eyectores que evacúen estas aguas.

Un efecto similar ocurre en edificios asentados diferencialmente, en los cuales los propietarios nivelan con mortero los pisos de las zonas más asentadas de la estructura, agregando peso adicional en este costado ya de por sí muy asentado, lo que a su vez aumenta el asentamiento diferencial. En muchos de estos casos, las medidas orientadas a enderezar la edificación se combinan con pilotes previamente hincados o preexcavados en el perímetro de la zona inicialmente más asentada, de manera que se reduzcan los asentamientos hacia este costado. Hay que resaltar que la instalación de pilotes en sitios distintos al perímetro, como en el área central de la cimentación –tal como se hizo en intervenciones no destinadas a corregir la verticalidad sino a minimizar asentamientos futuros– dificulta cualquier posterior intervención para recuperar la verticalidad de la construcción.

Antes de cualquier intervención debe procurarse que exista total claridad sobre los pros y los contras de las obras. Esto no siempre se evidencia en las copropiedades, sobre todo si se tiene en cuenta que la licencia para estas intervenciones en cimentaciones se emite bajo la modalidad de “reforzamiento estructural”, lo que puede prestarse para confusiones y posteriores reclamos. Salvo proyectos especiales en que se ha aprovechado la oportunidad para reforzar la superestructura, las intervenciones se han enfocado en repotenciar la fundación, en lo cual ha sido de gran utilidad la colaboración de los ingenieros de las distintas curadurías que han licenciado tales intervenciones.

Edificio Charleston

Para concluir, en los casos de edificios cimentados sobre placas flotantes, como el Edificio Charleston, al norte de Bogotá, se reaccionó sobre pilotes hincados y probados previamente⁴ para posteriormente recuperar los niveles de los pisos superiores de la superestructura. Previamente se debe realizar un encamisado metálico en dos secciones diferentes en todas las columnas a nivel de sótano, debidamente vinculado a la estructura original mediante conectores de cortante y *grouting*, y el soporte previo de las cargas de cada columna mediante herrajes, gatos hidráulicos y tornillos de alta capacidad, anticipando la posibilidad de falla del sistema hidráulico. Todo esto debe realizarse antes de cortar las columnas a la mitad de altura donde los momentos son menores, y antes de iniciar un proceso de levantamiento gradual, diferencial y simultáneo de la superestructura desde todos los sitios de intervención. De esta manera se evita inducir deformaciones internas de la estructura por efectos del mismo proceso, para una vez restituidos los niveles, emprender la reparación integral de las columnas en que las cargas quedarán viajando por el elemento metálico al final de la intervención.

↓ Foto 4. Trabajos de enderezamiento Edificio Charleston, Bogotá.

FRANCISCO SALAZAR



4: Toda intervención de este tipo se inicia con una prueba de carga según norma ASTM 1143 para corroborar diseños.



↑ Foto 5. Corte de pilotes en intervención del edificio Picasso.
FRANCISCO SALAZAR

En términos de riesgo durante este tipo de intervenciones cabe aclarar que, una vez cortada la gran mayoría de las columnas del Charleston, se presentó un sismo de gran intensidad en Bogotá, y en las dos torres intervenidas no hubo novedad mayor al golpeteo normal de los topes sísmicos dispuestos en ambas direcciones en todas las columnas.

Durante el proceso de renivelación del Charleston hubo una permanente redistribución de cargas en las diferentes columnas, lo que obligó a efectuar ajustes. Para esto resultó de gran utilidad contar con la interfaz Dinamcad⁵ en tres dimensiones y tiempo, aplicación que se viene desarrollando desde la época de la hinca de los cajones controlados y que permite agregar y apreciar de manera expedita en galerías de imágenes informativas dinámicas tridimensionales que hablan por sí mismas, no solo en lo correspondiente a los controles de carga, niveles relativos y demás registros de instrumentación, sino en cuanto al avance de la intervención.

Las intervenciones no se han realizado únicamente en edificios cimentados sobre losas flotantes; también se han aplicado a varios edificios cimentados sobre losas con vigas descolgadas a través de la colocación de un lastre en el costado menos asentado, práctica que

obliga al desalojo temporal de la primera planta. Cuando no es posible la evacuación, se instalan tensores verticales o se implementa una especie de zanja desestabilizadora en el mismo costado para acelerar el asentamiento por desconfinamiento lateral y drenaje. Todo lo anterior debe ser monitoreado y ajustado permanentemente durante el proceso en función del régimen de asentamientos monitoreado mediante Comparadores Hidrostáticos de Niveles. Esto ha permitido restablecer la verticalidad de varios edificios en tiempos prudenciales sin tener que desalojar los pisos superiores y sin haber afectado ni un vidrio de fachada.

Frente a la intervención en edificios cimentados sobre zapatas que no solo se encuentran inclinados sino deformados internamente, las cargas se han trasladado mediante pilotes pre-excavados a estratos profundos antes de actuar sobre ellos para recuperar los niveles originales de la superestructura con el corte de las columnas en una operación similar a la indicada para el edificio Charleston. Esto permite eliminar los esfuerzos internos que se hayan podido generar por efectos de asentamientos diferenciales, no sin antes comprobar que antes de la intervención las deformaciones correspondientes no hubieran sobrepasado lo correspondiente al esfuerzo de fluencia del acero.

Se han realizado intervenciones mucho más complejas en edificios de hasta 25 pisos de altura afectados por asentamientos diferenciales. Tal es el caso del Edificio Picasso, presentado ante el Congreso Internacional de Geotecnia en China (2016) que tuvo una intervención exitosa, pues después de ubicar micropilotes en el costado más asentado, el edificio quedó temporalmente soportado sobre gatos hidráulicos y tornillos mecánicos localizados entre dos anillos previamente adosados a los pilotes intervenidos, mientras se realizaba el corte de los pilotes de la zona menos asentada y se efectuaba el descenso gradual, diferencial y simultáneo de la superestructura.

Un caso atípico de corrección de verticalidad de un edificio mediante inyección de mortero seco a presión bajo el suelo de fundación correspondió a la efectuada en la tercera etapa del World Trade Center, cuya cimentación original había sido un cajón controlado hincado que se inclinó varios años después de su puesta en servicio a causa de la excavación profunda efectuada en el lote colindante por ese costado.

Conclusión

En la actualidad es común que cualquier excavación profunda que se realice en Bogotá cuente con instrumentación geotécnica, inclinómetros y piezómetros que permitan monitorear el desconfinamiento lateral por deflexiones horizontales de las pantallas perimetrales y el abatimiento del nivel freático en el suelo aledaño a la excavación a través de flujos en las paredes y fondo de la excavación, efectos que, dependiendo de su valor, pueden afectar singularmente estructuras vecinas. Asumiendo que ambos efectos resulten marginales durante la construcción de un nuevo proyecto, el solo hecho de construir una cimentación profunda vecina a un edificio cimentado superficialmente con el tiempo suele convertirse en un problema. Por más que no exista vínculo alguno entre las construcciones nueva y vieja, la cimentación profunda que venía asentándose de manera más o menos uniforme por efectos de subsidencia todos estos años, tiende a frenarse del costado en el que colinda con la nueva construcción que, por norma actual, debe quedar a suficiente distancia de la superestructura antigua para evitar que se choquen durante un sismo.

Para finalizar, es necesario aclarar que, aunque hay intervenciones poco afortunadas, y que los créditos de las intervenciones exitosas arriba referidas pertenecen a equipos de profesionales de las distintas empresas que han participado en dichas operaciones, es posible afirmar que ante este problema frecuente en Bogotá ya hay suficiente experiencia acumulada y se han desarrollado herramientas de nivel local que, en principio, pueden contribuir a la solución efectiva de gran cantidad de tipologías de edificaciones afectadas por asentamientos diferenciales. 

5: La aplicación de esta herramienta en el campo de la instrumentación de proyectos hidroeléctricos se encuentra publicada en la revista internacional *Hydropower and Dams*.

¿Cómo enfrentar una obra de restauración?

Claudia Guerrero
Ministerio de Cultura

Fotos: Cortesía Claudia Guerrero



→ Foto 1 y 2. Condición de la Capilla Las Mercedes en Salamina (Caldas) antes de la restauración.

El Patrimonio es el conjunto de bienes que constituyen la herencia y que refuerzan el sentido de una comunidad: es la identidad de una nación. De allí nace la importancia de conservarlo, mantenerlo y preservarlo. La restauración es el medio por el cual se protege y salvaguarda el patrimonio, para así, dar a conocer nuestro legado del pasado, lo que vivimos hoy en día y la manera de transmitir a las generaciones futuras lo que somos.

Por lo que representan, las obras de restauración se apoyan en un proceso de investigación donde intervienen diferentes disciplinas como ingeniería, arquitectura, historia, arqueología, y muchas más. Entre ellas se desarrollan los criterios y metodología que tiene como fin la intervención del bien que se pretende proteger, respetando la autenticidad, significado y propiedades del mismo, asegurando su accesibilidad y uso, y prologando y manteniendo el mayor tiempo posible sin deterioro sus materiales y espacialidad; que finalmente es lo que le da su valor y lo convierte en patrimonio.

El uso del concreto y en general la selección de materiales en las obras de intervención de bienes patrimoniales, depende de la evaluación y diagnóstico de los especialistas frente a la compatibilidad de la técnica constructiva con la que fue concebida la edificación; pensando siempre en mejorar las condiciones de habitabilidad, potenciando la rehabilitación del inmueble, del sector en el cual se localiza y, ante todo, la protección del patrimonio.



En ese sentido, los trabajos de restauración toman como base los siguientes criterios:

1. Proteger la edificación para frenar los daños y acometer posteriormente las obras necesarias para la restauración del bien a través de:
 - Construcción de una sobrecubierta en la totalidad del inmueble.
 - Construcción de un sistema de captación de aguas lluvias.
 - Limpieza general.
 - Apuntalar y consolidar los muros y excavaciones expuestos susceptibles de colapso.
 - Retirar elementos de cubierta para su posterior restauración.
2. Conservar el sistema estructural para consolidar la estructura y brindar las condiciones de estabilidad necesarias para cumplir lo establecido en la NSR-10, aplicando los procedimientos descritos en la cartilla de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en el capítulo de intervención en construcciones de adobe, tapia pisada y bareque, respetando la tipología constructiva. En términos generales, las obras estructurales consisten en:

↑ Foto 3. Ejecución de obras de restauración de la cimentación de la capilla. Reforzamiento estructural.

➔ Foto 4. Aspecto final capilla restaurada.

En las **obras de restauración** cada exploración que se realice puede significar un hallazgo de tipo **arqueológico, histórico o técnico** que implique variaciones en el costo final de la intervención.

- Desmontar los muros susceptibles de colapso.
- Consolidar la estructura a través de la construcción del reforzamiento propuesto por los diseñadores, que puede ser un sistema aporticado conformado por vigas y columnas en concreto reforzado que permitan integrar y confinar a él los muros existentes, soportado en zapatas que utilizan vigas de amarre como cimentación.
- Reemplazar los muros existentes que, por su grado de deterioro, no puedan ser recuperados, utilizando la misma técnica constructiva.
- Rehabilitar la cubierta con materiales similares a los originales, por lo general madera y teja de barro.
- 3. Rehabilitar para uso el inmueble con el remplazo o construcción de las redes de servicios de acueducto, alcantarillado y energía.
- 4. Conservar y recuperar la tipología arquitectónica, que consiste en ejecutar las obras de acabados de muros, pisos y carpintería para la recuperación integral del inmueble, al igual que eliminar elementos extraños añadidos con el pasar del tiempo.

La serie de fotografías que acompañan este artículo corresponden a la restauración de la Capilla Las Mercedes en Salamina, Caldas: un proyecto en el que fue necesario realizar un trabajo minucioso que consideró las premisas mencionadas anteriormente.

Como en la ejecución de cualquier tipo de obra, el equipo de trabajo se ajusta a la metodología, a las actividades y al presupuesto. Es aquí donde se hacen notorias las diferencias entre las obras de restauración y las demás intervenciones: en las obras de restauración cada exploración que se realice puede significar un hallazgo de tipo arqueológico, histórico o técnico que implique variaciones en el costo final de la intervención. 



Transformando ambientes y vidas entre todos

Gerencia de Sostenibilidad, Cementos Argos.

Fotos: Cortesía Argos

↑ La construcción sobre pisos de tierra genera condiciones propicias para la aparición de enfermedades.

La autoconstrucción de viviendas por cuenta de familias en condiciones precarias y sobre pisos de tierra, donde muchas veces no hay acceso a agua potable, generan condiciones propicias para la aparición de enfermedades respiratorias, parasitarias y gastrointestinales como la reconocida diarrea.

A partir de esta premisa, y de la mano de las comunidades, surge el programa “Ambientes Saludables” de Cementos Argos, desde donde se contribuye a transformar las condiciones de vida y habitabilidad de miles de familias en América Central, el Caribe y Colombia a través de la sustitución de los pisos de tierra por pisos de concreto, impactando la calidad de vida de estas comunidades.

¿Qué es el Programa de Ambientes Saludables?

El programa Ambientes Saludables, que cumple 10 años, consiste en reemplazar pisos en tierra por pisos en concreto, así como en adecuar otras áreas de la vivienda. Se desarrolla bajo un modelo de trabajo conjunto entre Argos, las comunidades, el gobierno local y otros aliados con el fin de mejorar el entorno físico de las viviendas y elevar las condiciones de higiene y salubridad a la población.

El programa está enmarcado en la Estrategia de Sostenibilidad de Argos, que centra su foco en la creación de valor para las comunidades de zona de influencia y busca impactar en el hábitat, integrando las diferentes iniciativas que se han gestado en el interior de la compañía, entre ellas: desarrollo de espacios habitacionales, uso de productos innovadores, aprovechamiento de la fuerza de trabajo a través del voluntariado, y desarrollo de competencias técnicas y laborales en las comunidades beneficiadas.

Construyendo entre todos

Una de las metas que se traza el programa es sembrar capacidades en las comunidades, centrando su esfuerzo en la capacitación de los jóvenes y adultos durante el proceso constructivo, de manera que se consolide un modelo que integra la mano de obra calificada, y no el desarrollo del proyecto *per se*.

A través de iniciativas que incluyen la transferencia de conocimiento, se consolida el capital social y el empoderamiento de las regiones, fomentando la promoción de la asociatividad, la gestión de proyectos y la resolución de conflictos.

105.061 m² de
pisos construidos.
37.355 personas
beneficiadas.
7.471 familias
beneficiadas.

\$1.099.550.000
COL invertidos
equivalente a
\$360.500 USD



Etapas del programa Ambientes Saludables

El programa tiene de 7 etapas:

1. Definición de comunidades y alcance del proyecto.
2. Búsqueda de aliados y contratistas de obra.
3. Levantamiento de estudio socioeconómico y técnico de las familias del proyecto.
4. Capacitación en procesos constructivos y vivienda saludable con los beneficiarios.
5. Entrega de materiales a cada beneficiario para inicio de la obra.
6. Inicio de construcción con mano de obra calificada y no calificada.
7. Finalización de la obra y entrega del proyecto a la comunidad.

La meta: contribuir con más ambientes saludables

Un ambiente saludable contempla el saneamiento básico, espacios físicos limpios y adecuados que posibiliten ámbitos psicosociales sanos, seguros, exentos de violencia y que proporcionan una vida saludable, entendiendo *salud* como el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades¹.

El informe de *Housing, Health and Happiness* publicado en por el Banco Mundial, muestra cómo el uso de cemento en la vivienda es crucial para el desarrollo económico familiar a corto, mediano y largo plazo. A corto plazo representa una mejora en la salud y bienestar de la familia, generando una disminución del 78% en infecciones parasitarias, del 49% en ocurrencia de diarreas y del 81% en ocurrencia de anemias. A mediano plazo provoca una mayor capacidad para generar ingresos y acumulación de bienes, representando un aumento en el 59% de la satisfacción con la vivienda y una disminución del 52% y 45% en la depresión y el estrés, respectivamente. A largo plazo refleja una mejora del 36% en el desarrollo cognitivo infantil de niños de 2 años.

1: Organización Mundial de la Salud, 1948.

↑ a. Edwin Zúñiga Salas es un niño que pertenece a una de las familias de Pasacaballos en Cartagena beneficiada con el programa Ambientes Saludables. Ahora, antes de ingresar a su vivienda, solicita a las personas se limpien los zapatos.

b. Un ambiente saludable contempla saneamiento básico y espacios físicos limpios y adecuados.

c. Empoderar a las comunidades genera apalancamiento de recursos, estructuración de proyectos y consolidación de aliados.

Principales cifras

- **Honduras:** el programa se desarrolla desde el año 2014 en seis departamentos del país (Comayagua, Valle, Choluteca, Francisco Morazán, La Paz, El Paraíso), llegando a 36 comunidades.

Aliados locales: Hábitat por la Humanidad, Fuerzas Militares de Honduras y Comunidades.

- **República Dominicana:** el programa se desarrolla desde el año 2015 en el departamento de Nigua, provincia de San Cristóbal, llegando a cinco comunidades.

Aliados locales: Hábitat por la Humanidad y Comunidad.

- **Colombia:** el programa se desarrolla desde el año 2009 en seis departamentos (Antioquia, Sucre, Bolívar, Valle del Cauca, Boyacá y Cundinamarca) llegando a 19 municipios.

Aliados locales: Pastoral Social, SENA y Comunidades. Para el 2019 se avanza en la intervención de 500 viviendas adicionales.

El apalancamiento de recursos, la estructuración de proyectos y la consolidación de nuevos aliados son el resultado de comunidades empoderadas que buscan que el programa llegue a más familias en condiciones precarias de hábitat.

↓ Tabla 1. Proceso constructivo del piso saludable.

PASOS	DESCRIPCIÓN
1. Preparar el sitio	Determinar el sitio que se va intervenir, su tamaño y dimensiones exactas: ubicar estaciones en las esquinas y atar una cuerda, utilizando un nivel de línea para definir el grado de inclinación. Ajustar las áreas si es necesario.
2. Preparar la base	Añadir una capa de grava y roca triturada sobre tierra compactada, asegurándose que esté compacta y vertida de forma uniforme.
3. Instalar malla electro soldada	Malla de acero que da a la estructura un mayor soporte de carga vertical y evita que el piso se dilate o se fisure. Debe quedar 3 ó 4 cm separado del suelo.
4. Preparar la superficie	Antes de preparar el concreto es necesario humedecer el terreno y eliminar los residuos o suciedades.
5. Aplicar el concreto	Preparar un concreto con dosificación 1 (cemento), 2 (arena) y 3 (triturado) más agua hasta lograr una mezcla homogénea. Vaciar el concreto en la superficie lista, esparcirlo y vibrarlo.
6. Afinar	Esparcir cemento gris, blanco o anilinas de color sobre el concreto fresco para dar el acabado final, dejar secar 24 horas antes de pisarlo.

Alberto Escovar Wilson-White:

La defensa del patrimonio cultural es cada vez más importante



↑ Foto 1. Alberto Escovar Wilson-White, director de Patrimonio y Memoria del Ministerio de Cultura.
MINISTERIO DE CULTURA

¿Qué factores determinan que una obra de arquitectura o de ingeniería sea declarada como patrimonio cultural Y cómo se protege?

En el marco de las leyes 397 de 1997, llamada Ley General de Cultura, y 1185 de 2009, el patrimonio cultural en Colombia puede protegerse a nivel local, municipal o distrital, departamental y nacional. Para que un sector urbano, arquitectónico, o un inmueble patrimonial sea considerado como bien de interés cultural de la Nación, se debe acreditar a través de la formulación de un plan especial de manejo y protección en que sus valores históricos, estéticos, simbólicos o arquitectónicos tengan previa aprobación del Consejo Nacional de Patrimonio Cultural, que es ente máximo asesor del patrimonio cultural en nuestro país.

El Ministerio de Cultura, a través de la Dirección de Patrimonio y Memoria, es el encargado de velar por la protección del patrimonio cultural de Colombia a través de las funciones que definen las leyes mencionadas de 1997 y 2009. Su plan de acción anual se enmarca en el Plan Nacional de Desarrollo que cada cuatro años define el Gobierno Nacional y consiste en asesorar y apoyar a todas las administraciones del país en sus labores de velar por la protección del patrimonio cultural.

Alberto Escovar Wilson-White es arquitecto de la Universidad de los Andes. Inició su labor como diseñador de proyectos de vivienda, y después, desde el entonces Instituto Colombiano de Cultura, trabajó en la recuperación de las antiguas estaciones de los Ferrocarriles Nacionales. Ahora, como Director de Patrimonio y Memoria del Ministerio de Cultura, se dedica a la conservación y recuperación del patrimonio cultural de Colombia.

En consonancia con el tema central de esta entrega, Noticreto lo buscó para hablar de su percepción sobre la importancia del patrimonio arquitectónico y el papel que el concreto ha jugado en la construcción de edificios históricos. Presentamos una síntesis de la conversación.

¿Por qué es tan importante para una sociedad restaurar y conservar el patrimonio arquitectónico?

Hay muchas razones. Una de ellas es entender que el patrimonio arquitectónico puede ser visto como las páginas de un libro que ha escrito cada generación, por lo cual demoler un inmueble significativo de uno de estos períodos es perder una página de ese libro. Por otro lado, los inmuebles patrimoniales son resultado de un esfuerzo que genera orgullo y reconocimiento a una sociedad y destruirlos atenta contra la esencia misma de su identidad y arraigo. Por sí mismo, el patrimonio es el ejemplo de una solución adecuada a una situación para un momento histórico y en unas condiciones climáticas y geográficas determinadas para un uso específico. Los habitantes de una población que lo visitan enriquecen su identidad cultural y los diseñadores y constructores del futuro tienen una fuente de inspiración.



"Los inmuebles patrimoniales son resultado de un esfuerzo que genera orgullo y reconocimiento a una sociedad y destruirlos atenta contra la esencia misma de su identidad y arraigo."

← Foto 2. Ópera de Sidney, Australia. Patrimonio de la Humanidad. WIKIPEDIA

A veces se duda entre restaurar o demoler un edificio. ¿Qué factores son determinantes para tomar la decisión?

Este dilema sólo se plantea en aquellos inmuebles que no están considerados como bienes de interés cultural. Cuando el inmueble es considerado bien de interés cultural, se debe restaurar.

Usted escribió el libro "Cien años de la arquitectura en Colombia". ¿Qué papel atribuye en él al concreto? ¿Cuáles obras patrimoniales realizadas en concreto destaca en Colombia y en el Mundo?

Como material constructivo, el concreto llegó a nuestro país en la última década del siglo XIX y su uso se popularizó en el siglo pasado. Hay infinidad de obras emblemáticas en concreto, que hacen parte del patrimonio construido. Por ejemplo, el Quiosco de la Luz en el parque de la Independencia en Bogotá, que fue la primera estructura construida en concreto nacional fabricado por la incipiente cementera de los hermanos Samper en el marco de la celebración del primer centenario de la Independencia en 1910. También están la catedral de Manizales terminada en 1939, el estadio de béisbol Once de Noviembre en Cartagena de 1947, el aeropuerto Olaya Herrera terminado en 1962 en Medellín o el Hotel Tequendama en Bogotá, de 1950. Todas son obras destacadas y sólo son una pequeña muestra del patrimonio construido en concreto que forma parte del patrimonio cultural de nuestra nación.

A nivel nacional, resalto personalmente el edificio de la plaza de mercado de Girardot del arquitecto alemán Leopoldo Rother, y en el ámbito internacional la Ópera de Sidney de Jørn Utzon. Hay otros lugares impresionantes construidos en ese material que también son patrimonio mundial como Brasilia, inscrita en 1987, o La capilla de Notre Dame du Haut en Ronchamp de Le Corbusier, inscrita en 2016.



↑ Foto 3. Vista macro de Brasilia. Ciudad Patrimonio de la Humanidad. WIKIPEDIA

¿En qué estado se encuentra el Quiosco de la Luz y cómo se realiza su conservación?

El Quiosco de la Luz tuvo infinidad de usos y permaneció abandonado varios años hasta su restauración en 2006. Actualmente su cuidado y administración dependen de la Alcaldía Mayor de Bogotá.

No solo el Quiosco de la Luz; parte de la riqueza cultural arquitectónica estuvo descuidada y en proceso de deterioro durante muchos años, incluso se perdieron obras de valor incalculable. En su opinión, ¿cuál proyecto edificado en concreto cree digno de recuperar y cuál considera que fue un error demoler?

Pienso que es muy acertado recuperar el teatro Amira de la Rosa en Barranquilla (1961-1982) de Enrique Zeizel, Angelo Magagna y Mario Lignarolo Marengo, un proyecto que lidera el Banco de la República y cuya restauración tomará varios años.

Creo que fue un error demoler por completo el aeropuerto Eldorado, de Cuéllar Serrano Gómez. Considero que se pudo realizar una integración de una parte del edificio antiguo al nuevo y no borrarlo completamente, como si nunca hubiera existido. En particular, el gran hall de pasajeros era un imponente y bello espacio definido por pórticos en concreto postensado con una luz de casi veinte metros. Nunca se contempló la posibilidad de conservarlo.



4



5



↑ Foto 4. Quiosco de la Luz, Bogotá.
WIKIPEDIA

➤ Foto 5. Teatro Amira de la Rosa, Barranquilla.
WIKIPEDIA

← Foto 6. Incendio Catedral de Notre Dame.
WIKIPEDIA

La normativa resulta crucial para asegurar la adecuada relación entre la recuperación estructural de una edificación patrimonial y su restauración. ¿Cómo se rigen las intervenciones sobre patrimonio en Colombia?

Si se realizan en inmuebles que poseen una declaratoria en el ámbito nacional, las restauraciones en el patrimonio en Colombia deben contar con la aprobación de la Dirección de Patrimonio y Memoria del Ministerio de Cultura. Los reforzamientos estructurales deben ajustarse a lo que está definido en la NSR-10 aunque ofrece dificultades en ciertos casos, en especial en inmuebles que hacen parte de nuestro patrimonio y que se levantaron entre los siglos XVI y XX con materiales como adobe y tierra. Gracias a un esfuerzo conjunto entre varias universidades y la Asociación de Ingeniería Sísmica se realizó un estudio para complementar el código, que en la actualidad nos permite disponer del documento AIS-600-EP-2017 que recoge los procesos de evaluación e intervención

de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos de adobe y tapia pisada, cuyo trámite se encuentra en curso. Al complementar la norma con este documento se logrará economía en las intervenciones en edificaciones de este tipo y se dispondrá de reforzamientos pensados exclusivamente para ellas.

Las tragedias como el reciente incendio de la Catedral de Notre Dame en París ponen en manifiesto el alto grado de vulnerabilidad del patrimonio arquitectónico. ¿Qué tanto preocupa a los países latinoamericanos la protección del patrimonio?

Si, la defensa del patrimonio cultural construido se ha fortalecido mucho en Latinoamérica en los últimos treinta años. Sin duda, nuestras realidades económicas no permiten realizar tantas intervenciones como se requerirían. Sin embargo, cada vez se hacen más restauraciones, mejor logradas y con mayor profesionalismo. Algunos países como México o Brasil tienen entidades gubernamentales robustas para defender el patrimonio y sin duda se presentan como inspiración para seguir trabajando en enfrentar nuestros desafíos.

En medio de la crisis ambiental, ¿cómo ve el futuro de la defensa y restauración del patrimonio histórico de la arquitectura y la ingeniería?

Creo que en el siglo XXI debemos evaluar mucho más cualquier decisión de demoler un edificio. Cada edificio que esté construido es, en sí, un patrimonio por estar en pie, y aunque no sea necesariamente un patrimonio arquitectónico o histórico, su demolición es una pérdida de dinero, trabajo y esfuerzo, y va a producir escombros que seguramente afectarán algún lugar. Nuestro planeta sufre por la manera en que lo hemos tratado; los recursos que nos ofrece tienen un límite y el llamado inicial a conservar y defender el patrimonio será cada vez más importante para nuestras generaciones y las que vienen. La defensa del patrimonio no nacerá por un discurso que apele a la memoria o la identidad, sino por una necesidad de conservar y recuperar nuestro entorno y sus recursos y, de esta manera, nuestra subsistencia en este planeta. 

ASOCEM Y FIHP celebraron con éxito el 2º Congreso Iberoamericano de Prefabricados de Concreto Lima, Perú del 10 al 12 de septiembre de 2019



↑ Participantes al 2º Congreso Iberoamericano de Prefabricados de Concreto.
ARCHIVO ASOCEM

Por primera vez en Perú, se llevó a cabo el **2º Congreso Iberoamericano de Prefabricados de Concreto**, evento desarrollado en conjunto por la Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM y la Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado - FIHP.

El evento se desarrolló con éxito y contó con la participación de 125 profesionales de las industrias del cemento, concreto, prefabricados y la construcción, convirtiéndose en el escenario ideal para promover la transferencia de tecnología y el intercambio entre los profesionales involucrados en la gestión y planeación de proyectos, diseño, construcción, supervisión y promoción de soluciones con elementos prefabricados de concreto.

El congreso contó con una agenda académica de 18 conferencias desarrolladas por profesionales de 8 países: Perú, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, Estados Unidos y México; todos expertos en gestión, diseño y construcción con elementos prefabricados de pequeño y gran formato.

Adicionalmente, el día 10 septiembre se llevó a cabo el **1er. Taller de Planeamiento Estratégico de Prefabricados de Concreto**, donde se discutieron las estrategias que se deben desarrollar en la industria del prefabricado de pequeño y gran formato en América Latina, para incentivar su uso y posicionar la tecnología en las entidades públicas, constructores y desarrolladores.

La mesa de ponentes estuvo compuesta por 3 expertos internacionales:

Gabriel Santana Echeagaray – Itisa, México.

José María Benito - Consultor Internacional, España.

Rodrigo Sciaraffia - Discovery Precast, Chile.

EMPRESAS Y GREMIOS PARTICIPANTES :

AEROPUERTOS DEL PERU S.A., ARPL, ASCHNER CONSULTORES ASOCIADOS SAS, AUTOPISTAS DEL NORTE SAC, CEMENTOS ARGOS, CEMENTOS INKA, CEMENTOS PACASMAYO S.A., CEMEX, CENTRO MODULAR DE POLIESTIRENO S.A. DE C.V., CEW – WONG, CONCREMAX S.A., CONCRETOS SUPERMIX S.A., CONSORCIO COSAPI – ICSK, CONSTRUCTORA VEISAC S.A., COSAPI S.A., DISTRIBUIDORA NORTE PACASMAYO SRL, ENTREPISOS LIMA S.A.C., ESPECIALISTAS EN PREFABRICADOS – ESPRESAC, FALABELLA CORPORATIVO PERÚ SAC, FERREYROS S.A., G.C.A.Q. INGENIEROS CIVILES S.A.C., GEXIM, GRUPO BDL, HIGASHI INGENIEROS SAC, INGENIERÍA DS, INTERCORP RETAIL, JNR CONSULTORES S.A., LOS PORTALES S.A., LV ESTRUCTURAS EN CONCRETO S.A., PREANSA, PREMEZCLADOS Y MAQUINARIAS CUSCO S.A.C., PRISMA INGENIEROS S.A.C., QSI PERÚ S.A., SAN BARTOLOMÉ, UNACEM, UNI, UNICON, VERAMON S.A., WCH – WEILER C HOLZBERGER. ASOCIACIÓN BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO- ABCIC, FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE CONCRETO ESTRUCTURAL – FIB, ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO – ASOCRETO, ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO – ASOCEM, FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DE HORMIGÓN PREMEZCLADO – FIHP.



↑ Germán Madrid y Carlos Ferraro.
ARCHIVO ASOCEM



↑ El evento contó con una muestra comercial entre las que se destacaron las siguientes empresas auspiciadoras: PREANSA, UNICON - ENTREPISOS - CONCREMAX, CEMENTOS PACASMAYO, CAMIONES CAMC Y QUIMICA SUIZA INDUSTRIAL.

ARCHIVO ASOCEM



INTERNATIONAL

Standards Worldwide

Online Center

En **ASTM Online Center de Asocreto** podrá adquirir a una tarifa especial más de **13.000 estándares y más de 29.000 artículos técnicos** de diferentes sectores



Novedades en estándares

Nombre de los estándares:

- **ASTM C1609 - 19** Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading).
- **ASTM C157 - 17** Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.
- **ASTM C1679 - 17** Standard Practice for Measuring Hydration Kinetics of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Isothermal Calorimetry.



Flickr - Decorative Concrete Kingdom

Ahorre hasta un **25%** frente a ASTM.org

Valor de cada estándar con **ASTM Online Center Asocreto: US\$32**

El valor incluye los gastos de envío en Colombia.
Las tarifas en dólares son aproximadas y se liquidarán de acuerdo con la TRM vigente el día del pago.



Más información de estos y otros estándares:

Ingeniero Francisco Javier Zapata
Teléfono: (57 1) 6180018 Ext. 123 y 124
Correo: fzapata@asocreto.org.co

Políticas y condiciones en www.asocreto.org.co/politicas-astm/

EVENTOS NACIONALES

XIV CONVENCION INTERNACIONAL - ACI PERÚ 2019
EFICIENCIA Y ALTERNATIVAS DE MEJORAS EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE CONCRETO
Lima, Perú

Del 14 al 15 de noviembre, 2019

<http://www.aci-peru.org>

EXPO YO CONSTRUCTOR

Trujillo, Perú

Del 15 al 17 de noviembre, 2019

<https://www.ycperu.com/>

SEMINARIO DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO

Lima, Perú

Del 18 al 22 de noviembre, 2019

<https://www.flsmidth.com>

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

SIMPOSIO INTERNACIONAL. RETOS EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS, BAJO ENFOQUE DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL, EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN BIM – PMO IPD

Chiclayo, Perú - CIP - Lambayeque

Viernes 22 de noviembre, 2019

Email: civil@ciplambayeque.com

CONGRESO INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y DESARROLLO – CIID

Lima, Perú – AFIN – CIID

Del 26 al 27 de noviembre, 2019

<http://ciid.pe>

EVENTOS INTERNACIONALES

10° CONGRESO IBEROAMERICANO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Santiago de Chile

20 de noviembre, 2019

<https://ich.cl>

LA RESTAURACIÓN

PADRE,
¿ES NECESARIO QUE
NUESTROS OBREROS
SE VISTAN DE ESA
MANERA?



MORTEROS DE REPARACIÓN

CONTENIDOS:
GUÍA DE SOLUCIONES SIKI 2018

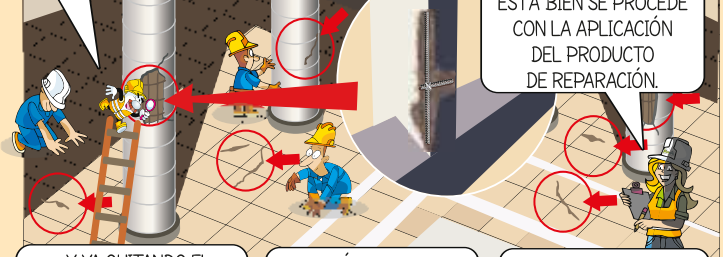
ILUSTRACIONES:
LUIS EDUARDO LEÓN

HOLA CAROLINA
¿QUÉ DEBEMOS
HACER CUANDO UNA
COLUMNA O UNA VIGA
ESTÁ DAÑADA O
TIENE UN HUECO?

HOLA JOSÉ,
ACTUALMENTE EXISTEN
DIFERENTES MÉTODOS
DE REPARACIÓN DE
ELEMENTOS
ESTRUCTURALES.

SIN EMBARGO LO
PRIMERO QUE SE DEBE
REALIZAR ES UNA
EVALUACIÓN SOBRE EL
ESTADO DEL ACERO.

AL ASEGURARSE QUE ÉSTE
ESTÁ BIEN SE PROCEDE
CON LA APLICACIÓN
DEL PRODUCTO
DE REPARACIÓN.



JOSÉ, LO PRIMERO ES
RETIRAR DE LA ZONA
AFECTADA TODO EL
CONCRETO QUE NO ESTÁ
CUMPLIENDO UNA LABOR.

SE DEBE RETIRAR
TODO EL
MATERIAL QUE
ESTÉ SUELTO EN
EL ELEMENTO.

PUES EL ACERO SE VE
BIEN. ¿QUÉ HAY QUE
HACER ENTONCES?



LISTO, YA SE PUEDE
PONER ENTONCES
¿NO?

NO JOSÉ, NO HAY AFÁN.
DEBEMOS HUMEDECER LA
SUPERFICIE EVITANDO
QUE QUEDEN CHARCOS
DE AGUA

ESTO SE REALIZA
PARA QUE LA
SUPERFICIE NO LE
ROBE AGUA AL
MORTERO DE
REPARACIÓN.

¿Y YA QUITANDO EL
CONCRETO SE PUEDE
PONER EL PRODUCTO DE
REPARACIÓN?

NO JOSÉ, EL PRODUCTO
DEBE TENER UNA
SUPERFICIE LO
SUFICIENTEMENTE
RUGOSA A LA CUAL
ADHERIRSE

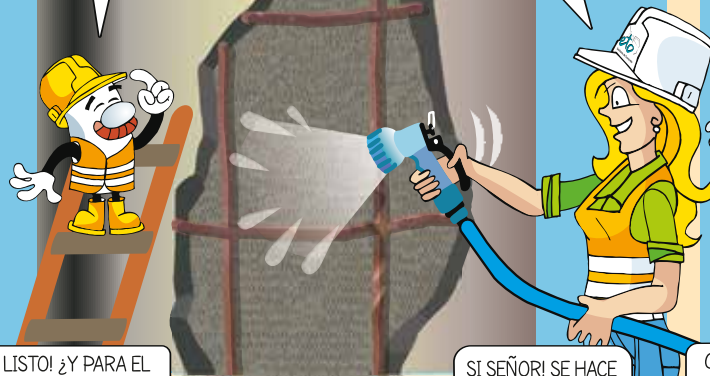
SE DEBE CREAR EL
PERFIL DE ANCLAJE
HACIENDO QUE LA
SUPERFICIE QUEDE
LIMPIA DE MATERIAL
SUELTO ANTES DE
APLICAR CUALQUIER
PRODUCTO.



¿Y AHORA QUÉ MÁS
FALTA CAROLINA ?

YA NADA MÁS JOSÉ,
PODEMOS APLICAR EL
PRODUCTO. SE DEBE
HACER UTILIZANDO
GUANTES

Y EN VARIAS CAPAS
SUCEATIVAS DE NO MÁS
DE 2 CENTÍMETROS
CADA UNA HASTA QUE
SE CUBRA POR
COMPLETO LA
AFECCIÓN.



LISTO! ¿Y PARA EL
ACABADO?
¿CON LLANA?

SI SEÑORI SE HACE
UN ACABADO
NORMAL QUE PUEDE
SER CON LLANA
METÁLICA O DE
MADERA.

CAROLINA , ¿Y ESTOS
PRODUCTOS SI SE
PEGAN BIEN CON EL
CONCRETO QUE ESTABA
ANTES?

JOSÉ, LO MÁS
IMPORTANTE ES HACER
UNA CORRECTA
PREPARACIÓN DE
SUPERFICIE Y CURADO
NORMAL

SI TODO SE REALIZA
TAL Y COMO SE
INDICÓ, EL
PRODUCTO SE VA A
ADHERIR
CORRECTAMENTE.



FIN

1

,

CONSTRUCTORES CAPACITADOS

En el Perú 7 de cada 10 construcciones son informales, por ello desde hace más de 10 años, nos hemos comprometido a promover prácticas de construcción seguras y responsables.





El futuro se construye con confianza

CAMC  en camiones hormigoneros



Av. El Sol Mz. D-1, Lt. 7-A,
Villa El Salvador - Lima
T. 717 6868
www.camc-peru.com

San Bartolomé