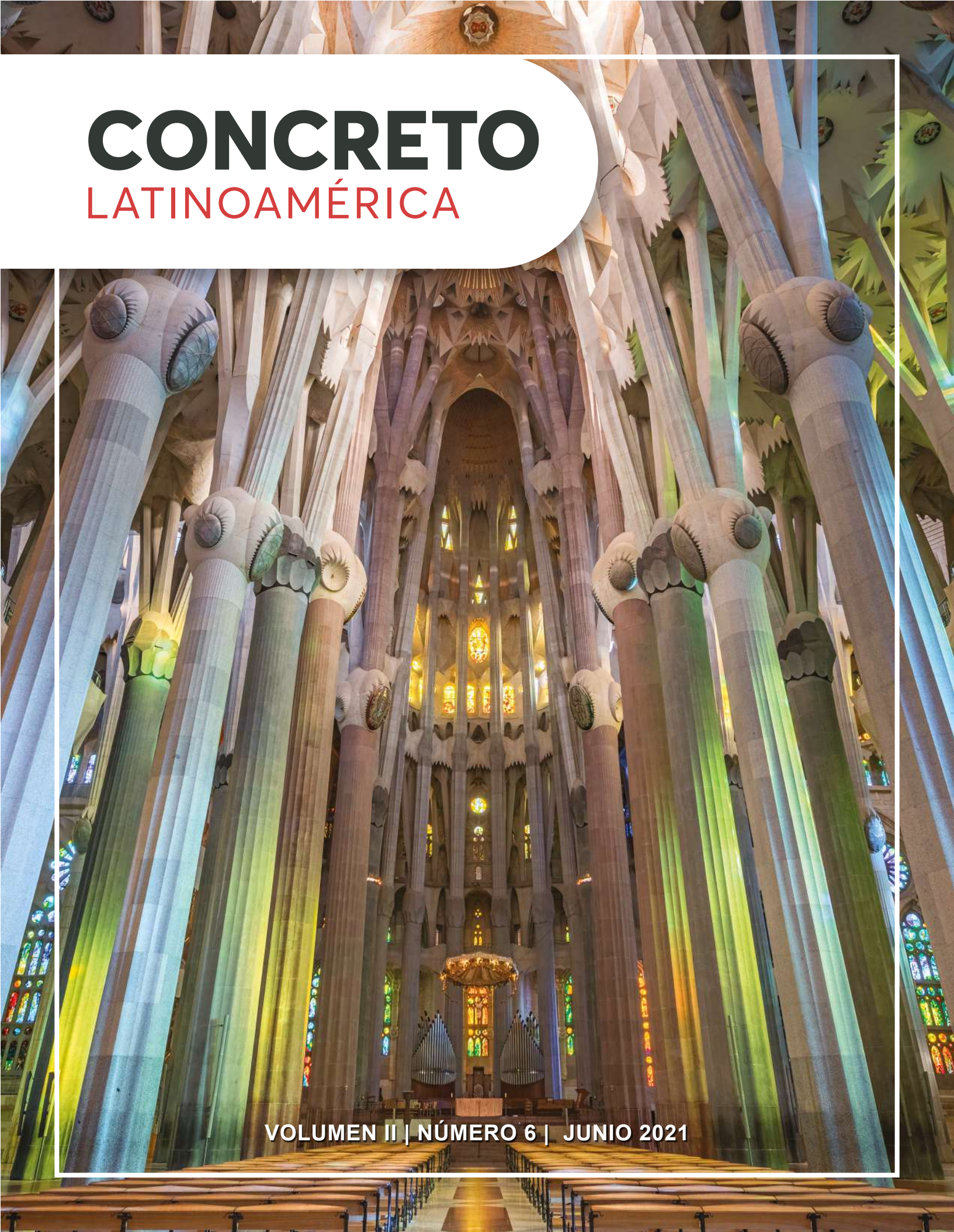
CONCRETO
LATINOAMÉRICA



VOLUMEN II | NÚMERO 6 | JUNIO 2021

CONCRETO
LATINOAMÉRICA

Volumen II - Número 6
Junio de 2021

El presente número de la Revista Digital Concreto Latinoamérica es un esfuerzo de los Capítulos o Secciones del American Concrete Institute (ACI) en Latinoamérica, para poner al alcance de sus miembros y afiliados los contenidos que el ACI International publica en su revista Concrete International en inglés.

CONTENIDO

Pág.

4 **Diseñar para la productividad y seguridad de la construcción.**
Diseñadores deben tener en mente de encofrados, apuntalamiento, recimbrado y puntales temporales.
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Puerto Rico.

11 **Estructuras de proporciones bíblicas.**
Concreto de alta resistencia como ingrediente crucial en la construcción de la catedral más alta del mundo, la Sagrada Familia.
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Noreste.

18 **Un caso de estudio de muros de corte de concreto prefabricado.**
Construcción de las instalaciones de llegadas internacionales para el Aeropuerto Internacional de Seattle-Tacoma.
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Costa Rica.

21 **Encofrado producido usando manufactura aditiva.**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Ecuador Centro y Sur.

24 **Concreto P y R.**
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Guatemala.

COMITÉ EDITORIAL:

Presidente del Comité Editorial:
Ing. Alejandro Miguel Narro Aguirre
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI. (2020-2022)

Editor en Jefe:
Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

Editor Asociado:
M.C. Lucio Guillermo López Yépez

Soporte Técnico:
Dr. Alejandro Durán Herrera

Coordinadora de Traducciones:
Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comunicación y Logistica:
Lic. Ana Durán Herrera

Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:
Correo: concretolatam@gmail.com
Tel: +52 81 2146 4907

"Agradecemos el apoyo a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por la colaboración en el diseño editorial".

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL
MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís
LDI. Luis Yerel Romo Valdez
LDI. Monserrat Garza Treviño

Auxiliar de Diseño:
Alejandro Martínez Sánchez

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Junio de 2021. El Instituto no se hacer responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información.
Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales.
Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

Argentina	Ing. Raúl Bertero
Colombia	Ing. Nancy Torres Castellanos
	Ing. Fabían Lamus Báez
Costa Rica	Ing. Minor Murillo
Ecuador Centro y Sur	Ing. Santiago Vélez Guayasamín
Guatemala	Ing. Luis Alvarez Valencia
	Ing. Xiomara Sapón
México Noreste	Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
Mexico Noroeste	Ing. Alejandra Valencia
México Centro y Sur	Ing. Alma Reyes Zamorano
México Sureste	Ing. Josseph Mandujano
Perú	Ing. Luciano López Vinatea
Puerto Rico	Ing. Anabel N. Merejildo

***Fotografía de portada correspondiente al Interior del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona, España. El interior de la Catedral es una celebración a la luz. Derechos de la fotografía reservados por** *© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família.*

¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo local ACI

300+ Capítulos profesionales y estudiantiles
www.concrete.org/chapters

aci American Concrete Institute
Always advancing

ARTÍCULO

1 UNO

Diseñar para la productividad y seguridad de la construcción

Diseñadores deben tener en mente de encofrados, apuntalamiento, recimbrado y puntales temporales.

Por Gordon H. Reigstad, Jason G. Reigstad, and Jared M. Reigstad.

Gracias a las excelentes herramientas de software que hoy están disponibles, los ingenieros estructurales pueden diseñar de manera eficiente y efectiva, estructuras económicas de concreto armado (CA) y pos-tensado (PT). Sin embargo, incluso los mejores programas de computadoras no evitan que los ingenieros incorporen detalles desafortunados en sus proyectos. Por ejemplo, muchos diseños de proyectos requieren juntas de movimiento temporales para minimizar el agrietamiento debido a las tensiones asociadas con los movimientos de piso causados por cambios en el volumen del concreto. Sin embargo, el detalle utilizado comúnmente -la llamada tira de vertido- puede ser bastante problemático (Fig. 1). Hemos observado a través de los años que el posicionamiento y diseño de las tiras de vertido rara vez son consideradas a fondo, por lo que estos detalles suelen ser la causa de los atrasos de construcción, costos añadidos, y problemas de seguridad.

El Problema Principal

El cambio de volumen es un aspecto desafiante en la construcción de CA y PT. Si no se toman medidas para minimizar la restricción de acortamiento (RTS) de columnas, pórticos reforzados, pórticos resistentes a momentos, y paredes cortantes, las deformaciones resultantes de la contracción, fluencia, temperatura y acortamiento elástico del concreto asociado con el pos-tensado pueden resultar en tensiones altas y agrietamiento significativo. En una losa elevada la solución común es utilizar una tira de vertido -un espacio entre dos colocaciones de una losa elevada.

Una tira de vertido diseñada correctamente interrumpirá temporalmente la continuidad de la losa entre los elementos estructurales lateralmente rígidos, reduciendo así el RTS.

(a)

(b)

Fig. 1: Las tiras de vertido son espacios en las estructuras de pisos diseñadas para minimizar la restricción de los cambios de volumen del concreto en las primeras etapas: a) puntales temporales y los cambios en la elevación crean problemas logísticos y de programación; y b) las colocaciones de concreto retrasadas dan como resultado costes unitarios elevados.

Debido a que las deformaciones por fluencia y contracción aumentan con el tiempo, el agrietamiento se puede reducir manteniendo la tira de vertido abierta por un periodo extendido. No es raro que el ingeniero de diseño requiera que las tiras de vertido de un proyecto se mantengan abiertas durante 28 o 56 días, pero hemos visto especificaciones de proyectos que exigen tiempos de apertura aún más largos.

La ubicación importa

Además de detallar y especificar el tiempo de apertura para las tiras de vertido, el ingeniero de diseño determina la ubicación para las tiras vertido. Las tiras de vertido por lo general se ubican en un espacio que se encuentra aproximadamente a la mitad entre los elementos más rígidos, y a menudo, esto cerca del medio del edificio o una sección del edificio, ya que debe tenerse en cuenta la geometría. La ubicación específica dentro del espacio seleccionado requiere una consideración cuidadosa.[1]

Un Cuarto de Tramo

Algunos ingenieros colocan la tira de vertido en ubicaciones de un cuarto del tramo, cerca del punto de contra flexión (momento de cero flexión) para cargas uniformes. En estos lugares se requiere un refuerzo para flexión relativamente ligero. Aunque la cortante de la losa es relativamente alta, se pueden utilizar llaves cortantes de concreto para llevar la cortante a través de la junta completa; también se puede utilizar fricción cortante.

Sin embargo, antes del cierre de la tira de vertido, la ubicación del cuarto de tramo da como resultado un voladizo largo que puede ser difícil de diseñar como autoportante. Las cargas a causa del peso propio de la losa son acumulativas, por lo que todos los niveles de losa en el tramo afectado deben ser apuntalados (consulte el cuadro de texto) y los puntales deben soportar cargas elevadas. Además, los puntales temporales deben permanecer en su sitio hasta que la estructura de concreto esté completada (mostrado en Fig. 2(a)).

La necesidad para apuntalar todos los niveles puede generar costos significativos para el contratista de encofrados de concreto, pero el costo de apuntalar es solo una parte del costo total. Para evitar sobrecargas, los puntales cerca de los niveles bajos deben estar poco separados, lo que hace casi imposible que otros oficios trabajen en las áreas afectadas. Incluso si el acceso es posible, muchos sistemas mecánicos, eléctricos, de plomería y de acabado no pueden ser completados hasta que la tira de vertido esté cerrada.

Definiciones proveídas por el Comité ACI 347[2]

Puntales temporales: puntales que se dejan en su lugar o puntales colocados cómodamente debajo de una losa de concreto o un miembro estructural después de que el encofrado y los puntales originales se hayan quitado de un área pequeña, sin permitir que toda la losa o el miembro se deflexione o soporte su propio peso y las cargas de construcción.

Puntales de reapuntalamiento: puntales colocados cómodamente debajo de una losa de concreto decapado u otro miembro estructural después de que las cimbras originales y los puntales se hayan quitado de un tramo completo, requiriendo que la nueva losa o miembro estructural se desvíe y soporte su propio peso y que las cargas de construcción existentes que se aplicarán antes de la instalación de los puntales de reapuntalamiento.

Puntal: miembro de soporte vertical o inclinado, o un pórtico arriostrado diseñado para cargar el peso del encofrado, el concreto, y las cargas de construcción.

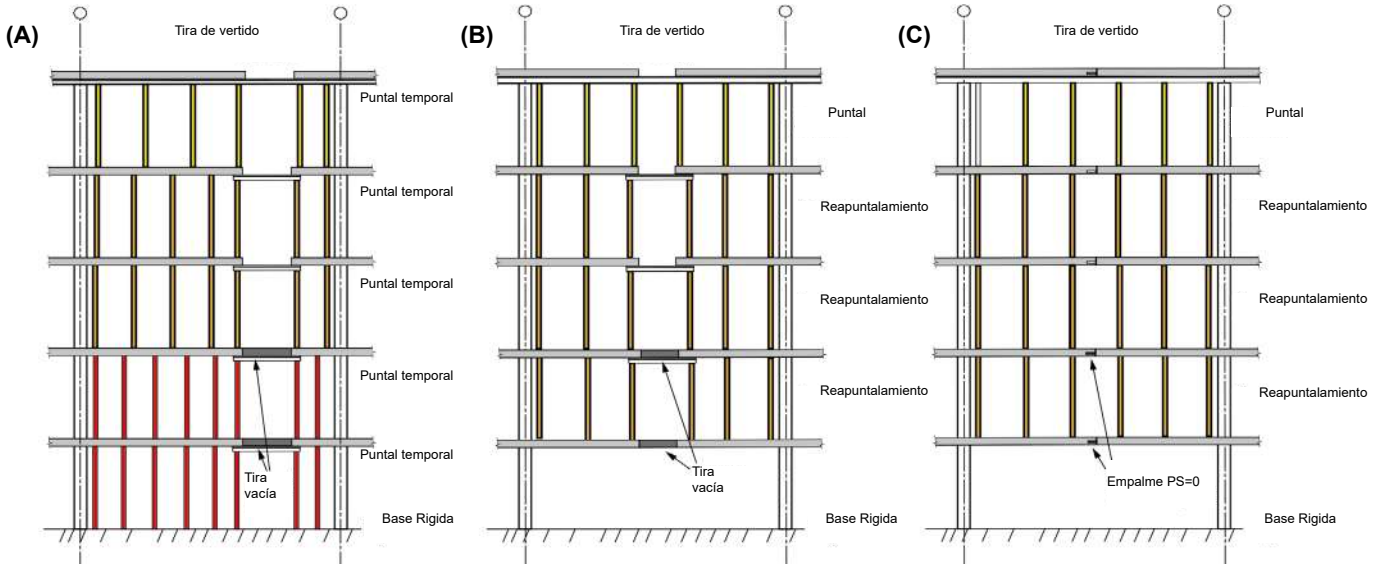


Fig. 2: Las tiras de vertido pueden impactar significativamente el encofrado y el apuntalamiento: (a) las tiras de vertido convencionales pueden resultar en losas en voladizo que requieren puntales temporales muy cargados que se extienden hasta la base de la estructura; (b) si los voladizos pueden ser diseñados para que sean autoportantes, las tiras de vertido convencionales pueden reducir la necesidad para puntales temporales; y (c) las tiras de vertido sin espacios pueden proveer ventajas similares, combinadas con una superficie de trabajo más segura en todos los niveles.

Además, los cambios en elevación refuerzo expuesto en una tira de vertido crean peligros para los trabajadores que cruzan la brecha. Estos desafíos no solo afectan significativamente la agenda de trabajo, sino que también crean problemas logísticos y de seguridad para todos en el lugar de trabajo.

Mitad del tramo

Si se encuentra a mitad del tramo (Fig.2 (b)), el cierre de la tira de vertido requerirá un refuerzo de momento positivo significativo. La solución convencional es empalmar el refuerzo que se extiende desde ambos lados de la tira de vertido. Esto requiere empalmes solapados de Clase B según el código ACI 318.[3] Si los voladizos no están diseñados como autoportantes, las cargas se acumularán en puntales temporales, al igual que lo hacen en la ubicación de un cuarto de tramo. Por lo tanto, ubicar una tira de vertido en el medio del tramo provee ventajas de construcción solo si los voladizos están diseñados como autoportantes (con una pequeña prima para refuerzo adicional). Se requiere reubicación, pero solo para soportar el peso de la losa que se va a moldear, y sus cargas de construcción asociadas. No se requiere puntales temporales, y las cargas no son acumulativas. Además, la reubicación puede ser terminada cuando la estructura del piso debajo pueda soportar un nivel de peso propio y cargas de construcción.

Debido a estas ventajas, la mayoría de los contratistas prefieren la ubicación a mitad de tramo para las tiras de vertido, con cada voladizo diseñado como autoportante. Este sistema permite la solución de recimbrado en lugar de la solución de mayor capacidad de puntales temporales (es decir, muchos más puntales) que deben permanecer en su lugar hasta la finalización de la estructura de concreto.

Soluciones alternas

Un artículo reciente provee los conocimientos de un diseñador de encofrados sobre puntales temporales y reapuntalamiento, [4] proponiendo que una tira de vertido ancha facilitará la creación de losas en voladizos autoportantes, permitiendo así el recimbrado en lugar de utilización de puntales temporales. Otra opción es lo que llamamos una “tira de vertido sin espacios” (Fig. 2(c)).

Mientras que el término tira de vertido sin espacios podría ser considerada como un oxímoron, esta provee una buena descripción de esta forma de junta de alivio de tensión. Una tira de vertido sin espacios no requiere una abertura en la estructura del piso, por lo que puede mejorar en gran medida la seguridad en el lugar de trabajo al eliminar las aberturas y los cambios de elevación. Además, una tira de vertido sin espacios elimina lo que la mayoría de los contratistas de concreto dicen que es el concreto más costoso (por unidad) en un proyecto—la colocación del cierre (Fig.1 (b)). Sin embargo, lo que es aún más significativo, la tira de vertido sin espacios elimina las molestias, las demoras y los peligros de seguridad asociados con el movimiento de equipos, materiales y personal sobre un espacio y a través del apuntalamiento denso requerido para muchas tiras de vertido estándar (Fig. 1(a)).

Una tira de vertido sin espacio también necesitará un cambio en las operaciones normales para la construcción PT. La falta de un espacio significará que los tendones en la segunda losa no se pueden tensar en la junta. En otras palabras, se necesitarán anclajes sin salida en esa ubicación. Afortunadamente, el contratista puede determinar las secuencias de colocación y tensado sin afectar el diseño estructural.

Para crear una tira de vertido sin espacios, se requiere algún tipo de dispositivo en la junta de alivio de tensión. Este dispositivo debe ser capaz de transferir fuerzas a través de la junta después que se haya colocado la segunda losa en la junta y haya pasado suficiente tiempo para que ocurra la mayor parte del cambio de volumen. Nosotros clasificamos estos dispositivos como espigos y acoples mecánicos. El primero está diseñado para transferir fuerzas cortantes, y el segundo está diseñado para transferir fuerzas cortantes y de tracción a través de la junta.

Fig.3 El Sistema de Empalme Mecánico de Barras de Refuerzo PS=Ø puede asegurar continuidad dúctil y una tira de vertido sin espacios.

(a)

(b)

Fig.4 El acoplador mecánico PS=Ø permite que los contratistas produzcan tiras de vertido sin espacios: (a) los acopladores están adjuntos al encofrado en una junta de construcción antes de colocar la primera losa en la junta (aquí, mostrado en un módulo ancho de colocación de viguetas); y (b) una vez haya pasado el tiempo especificado después de la colocación de la segunda losa en la junta, los trabajadores colocan lechada de muy alta resistencia en acopladores mecánicos PS=Ø. Las flechas rojas indican la junta abierta que se rellenará con concreto que coincida con la resistencia de la losa.

Espigos asegurables

El espigo asegurado está diseñado para transferir fuerzas cortantes y al mismo tiempo permitir el movimiento horizontal hasta que se asegure con un relleno epóxico. Este tipo de dispositivo no proporciona la continuidad de la cuerda de diafragma dúctil requerida de las barras de refuerzo. Además, debido a que la continuidad de la cuerda de diafragma se interrumpirá en la tira de vertido, el diseñador podría necesitar agregar elementos laterales resistentes de fuerza para compensar la interrupción. En otras palabras, una tira de vertido sin espacios creada usando espigos asegurados, se comportará como una junta de expansión, creando dos estructuras independientes. Como resultado, este dispositivo debe adaptarse al diseño estructural original.

Acoples mecánicos

Nuestra empresa ha desarrollado el Sistema de Empalme Mecánico de Barras de Refuerzo PS=Ø® (Fig.2 (c) y Fig. 3), que permite el libre movimiento en la junta de alivio de tensión hasta que el acoplador se enlecha con una lechada de concreto de muy alta resistencia (Fig. 4). El sistema PS=Ø utiliza tecnologías de acopladores probadas que se han utilizadas mundialmente durante décadas. Con un extremo roscado y una manga llena de lechada, este sistema está listado en ICC ESR-4213[5] como que cumple con los requisitos de empalme mecánico ACI 318 Tipo 1 y Tipo 2 para barras de refuerzo deformadas, y cumple con los códigos de construcción de Florida y California. El sistema PS=Ø continúa una larga y exitosa historia de acopladores de empalmes mecánicos de barras de refuerzo, proporcionando continuidad dúctil en innumerables aplicaciones sísmicas en todo el mundo.

Cuando se utiliza con llaves de cortes formadas en el concreto y/o utilizando fricción cortante, este acoplador mecánico resulta en una continuidad tanto de corte como de movimiento a través de una junta de alivio de tensión. El acoplador también proporciona la continuidad de una cuerda de diafragma dúctil requerida de las barras de refuerzo. Además, debido a que el acoplador de PS=Ø es de acero de hierro fundido dúctil relleno con lechada de concreto, y el espacio está relleno de concreto, todas las clasificaciones de resistencia al fuego se mantienen simplemente usando la misma cubierta que se requiere para las barras de refuerzo de acero por el Código Internacional de Construcción.

El sistema permite flexibilidad en cuanto a la localización de la junta de alivio de tensión. Si la junta está localizada a un cuarto del tramo (donde un voladizo autoportante es muy largo para ser práctico), puntales temporales son tradicionalmente necesarios. Con el sistema PS=Ø, movimiento del espigo antes del enlechado crea un voladizo apuntalado el cual es autoportante y solo requiere recimbrado. Sin embargo, si la junta se encuentra a medio tramo se puede generar una oportunidad de crear voladizos autoportantes de tal manera que se elimine la necesidad de puntales temporales en niveles inferiores (Fig. 2(c). Agraciadamente es relativamente sencillo que en la construcción PT se diseñe un voladizo autoportante, con una tira de vertido (junta de alivio de tensión) localizado a medio tramo. Además, cuando una tira de vertido es necesaria para los esfuerzos (en una localidad interior), con PS=Ø, la tira de vertido se puede fundir inmediatamente luego de esforzar la segunda losa, nuevamente logrando una tira de vertido sin espacios. Una aplicación similar está disponible para las paredes inferiores con un agujero ranurado en el acoplador del PS=Ø que permite movimiento longitudinal y transversal.

Ya que el rediseño no es requerido, con relación al tiempo de instalación, muchos acopladores de PS=Ø han sido instalados tarde en el proyecto para mejorar el itinerario. Nunca es tarde para incorporar el sistema PS=Ø aunque el último piso sea el único por fundir.

Con la tira de vertido ubicada a medio tramo, el sistema PS=Ø tienen todas las características y el comportamiento de ingeniería esperado como la tira de vertido tradicional (con empalmes de solapes para continuidad) pero sin el espacio. El único refuerzo de flexión requerido a medio tramo es en las barras inferiores necesarias de tal manera que provean la capacidad de momento positivo requerido a medio tramo.

La conclusión general del sistema PS=Ø es poder hacer una tira de vertido tanto a un cuarto de tramo como también a medio tramo. La ventaja de estar localizado a un cuarto de tramo es no tener tendones PT adicionales y menos acopladores PS=Ø, mientras que si el diseño original requiere una tira de vertido a medio tramo (ya que es lo más económico para una tira de vertido tradicional), ningún rediseño es requerido, aunque implique un costo mayor por el post-tensionado adicional. En ninguno de los casos puntales temporales es requerido, y beneficios en costos, tiempo y seguridad son alcanzados con cualquiera de las localizaciones.

—PS=Ø,www.pourstrip0.com

Reconocimientos

Gracias al Miembro Honorario de la ACI William Gamble por su revisión y aportación durante el desarrollo del Sistema de Empalme Mecánico de Barras de Refuerzo PS=Ø®.

Referencias

1. Allred, B., “Issues in Post-Tensioned Construction,” Concrete Construction, Jan. 2006, www.concreteconstruction.net/how-to/ construction/issues-in-post-tensioned-construction_o.

2. ACI Committee 347, “Guide to Formwork for Concrete (ACI 347R-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 36 pp.

3. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.

4. Bordner Tanck, M., “Pour Strips and Constructability,” Structure Magazine, Apr. 2014, pp. 46-47

5. ICC-Evaluation Report ESR-4213, “PS=Ø Steel Reinforcement Splice System for Steel Reinforcing Bars,” ICC-Evaluation Service, LLC, Country Club Hills, IL, USA, Mar. 2019, 6 pp.

Gordon H. Reigstad es el presidente de Reigstad & Associates, Inc., Saint Paul, MN, USA. Tiene sobre 47 años de experiencia en diseño e ingeniería estructural. Reigstad tiene cuatro patentas enfocadas en la construcción de concreto reforzado y postensado, y actualmente sirve en el Grupo de Trabajo de la Junta de ACI sobre Productividad en la Construcción de Concreto. Recibió su PhD en ingeniería estructural de la Universidad de Minnessota Twin Cities, Minneapolis y St. Paul, MN, y es miembro del Comité de Planificación de la Serie Anual de Seminarios de Ingeniería Estructural de la Universidad de Minnesota.

Jason G. Reigstad, es el vicepresidente en Reigstad & Associates, Inc. Ha estado involucrado en la evaluación y restauración de estructuras de estacionamiento por más de 30 años y al mismo tiempo realizar la administración de construcción en el sitio en estructuras a gran escala en todo el país. Engineering News-Record lo nombró uno de los “Top 25 Newsmakers ” del 2017 por su trabajo en la investigación de estructuras de estacionamiento de doble T reforzadas con rejilla de carbono, y actualmente se desempeña en el Comité ACI 347, Encofrado Para Concreto. Recibió su licenciatura de ingeniería civil de la Universidad de Dakota del Norte, Grand Forks, ND, EE. UU.

Jared M. Reigstad es el vicepresidente en Reigstad & Associates, Inc. Tiene sobre 17 años de experiencia en diseño e ingeniería estructural. Supervisa las operaciones en Reigstad, incluidos los departamentos de ingeniería estructural e ingeniería de prefabricados, y actualmente forma parte del Comité Conjunto ACI-PCI 319, Código de Concreto Estructural Prefabricado. Recibió su licenciatura en ingeniería civil del Instituto Politécnico Rensselaer, Troy, NY, EE. UU., y su MCE de la Universidad de Norwich, Northfield, VT, EE. UU., Donde es profesor adjunto en el programa de Maestría en Ingeniería Civil.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Puerto Rico

Título: Diseñar para la productividad y seguridad de la construcción

Traductor:
Nicole Mejía Borrero.

Revisor Técnico:
Anabel N. Merejildo.

ARTÍCULO

2 DOS

Estructura de proporciones bíblicas

Concreto de alta resistencia como componente crucial en la construcción de la catedral más alta del mundo, la Sagrada Família.

por Deborah R. Huso

Cuando en 1882, los obreros comenzaron la construcción del renombrado Templo de la *Sagrada Família* del arquitecto español Antoni Gaudí,el principal material de construcción era la piedra arenisca. Sin embargo, el concreto siempre ha sido un componente de la catedral, ubicada en Barcelona,España. De hecho, Gaudí utilizó por primera vez lo que entonces era un material novedoso – el concreto reforzado hecho de cemento portland– en la construcción del pináculo de los primeros campanarios de la fachada del Nacimiento en 1924 y 1925 (Fig. 1).

A lo largo de casi un siglo y medio, la construcción de la basílica de estilo gótico y Art Nouveau se ha visto afectada por las guerras, la pandemia de la influenza de 1918 y 1919, y a la variabilidad del financiamiento. Pero gracias a un aumento del turismo impulsado por la celebración de los Juegos Olímpicos en 1992 y a la consagración de la basílica por el Papa Benedicto XVI en 2010, la catedral ha aumentado su flujo de financiamiento para su construcción a través de las tarifas de entrada. Se prevé su finalización en el año 2026, en la conmemoración del centenario de la muerte de Gaudí. Por desgracia, la reciente pandemia de COVID-19 ha retrasado de nuevo la programación, y el arquitecto de la *Junta Constructora del Temple Expiatori de la Sagrada Família*, Jordi Fauli, ha dicho que su equipo aún no ha establecido una nueva fecha.

Fauli es el noveno arquitecto en jefe que supervisa el diseño y la construcción de la *Sagrada Família* y el único que probablemente vivirá para verla terminada.

Fig. 1: La fachada del Nacimiento presenta dos torres de 107 m (351 pies) flanqueadas por torres de 98 m (321 pies). Esta fachada fue casi terminada bajo la dirección de Gaudí *(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)*

Fig. 2: La fachada de la Pasión presenta dos campanarios de 112 m (367 pies) flanqueados por dos campanarios de 102 m (334 pies). Detrás de estos, seis torres más están en construcción *(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)*

Fig. 3: Detalle de dos pináculos de las agujas de la fachada de la Pasión. Las torres están decoradas con mosaicos *(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)*

Construcción según los planos de Gaudí

A medida que avanza la construcción de esta catedral, la más alta del mundo, los materiales han cambiado radicalmente. La piedra sigue siendo el principal componente de la *Sagrada Família*, pero el concreto, en particular el de alta resistencia, se ha convertido en las últimas décadas en un material de construcción fundamental de la catedral y ha contribuido a acelerar la construcción de la basílica.

"Los avances técnicos han permitido superar los retos del pasado", dice Fernando Villa, Director de Construcción y Tecnología de la *Sagrada Família*. "Aunque Gaudí sólo construyó una pequeña parte [de la catedral en vida], dejó el camino en sus estudios para que lo siguieran sus sucesores".

La *Sagrada Família* presenta un diseño de cruz latina con cinco naves longitudinales y tres naves que forman el transepto (los brazos de la cruz). La fachada del Nacimiento está en el extremo noreste de la cruz, y la fachada de la Pasión está en el extremo suroeste de la misma.

Las características arquitectónicas más destacadas de la basílica son sus monumentales torres y chapiteles. El diseño de Gaudí comprendía 18 chapiteles, incluyendo 12 colocados en las fachadas, representando a los apóstoles de Cristo. Ocho de los 12 chapiteles que representan a los apóstoles están completos (Fig. 1 a 3). Cuatro más se construirán con la fachada final –la fachada de la Gloria en la base de la cruz– y seis chapiteles más se están construyendo en el centro del transepto y en la parte superior del ábside (la cabeza de la cruz). Estos chapiteles siguen estando parcialmente ocultos detrás de los chapiteles de las fachadas del Nacimiento y de la Pasión (Fig. 1 y 2), pero pronto serán visibles.

Cuando estén terminadas, las cuatro torres de los Evangelistas tendrán 135 m (443 pies) de altura cada una; la torre de la Virgen María tendrá 138 m (452 pies) de altura; y la torre de Jesucristo Cristo tendrá 172.5 m (566 pies) de altura.

Según Villa, queda por construir el 25% de la basílica incluyendo el acabado de las torres centrales, la fachada de la Gloria y sus chapiteles, y una segunda sacristía.

Uso del concreto para superar los obstáculos arquitectónicos

Una de las características de diseño más destacadas de la famosa basílica de Gaudí, es la ausencia de los arbotantes convencionales presentes en muchas catedrales góticas de Europa. El diseño de Gaudí sostiene la estructura del tejado, las torres y los altísimos ventanales a través de las columnas del transepto central y del ábside. Esas columnas en forma de árbol y sus llamativas "ramas" están todas hechas con una estructura de concreto reforzado de alta resistencia, encerrada en "tambores" exteriores de piedra o de concreto.

"Era necesario cumplir los nuevos requisitos [del código] de construcción", dice Villa. "De hecho, [el concreto de alta resistencia] era la única alternativa para cumplir los nuevos requisitos de carga de viento y mantener la amplitud de los muros y su inusual geometría. También era la única manera de soportar la carga de compresión manteniendo el diámetro de las columnas definido por Gaudí."

Según Fauli, Gaudí formuló un sistema de columnas inclinadas como árboles con ramas en pendiente que sostienen los niveles superiores. "Quería diseñar una iglesia sin arbotantes y sólo con columnas interiores para sostener [el tejado, las torres y las ventanas]", dice Fauli. El empuje del techo y el peso de las torres centrales es soportado por esas columnas interiores ramificadas. Todas las columnas tienen diferentes sistemas de proporciones de diámetros y de esbeltez establecidos por Gaudí. Las columnas de su modelo original de la nave principal siguen este sistema, al igual que las nuevas columnas del transepto y del ábside (Fig. 4).

Los arquitectos que han retomado el manto de Gaudí en los casi 100 años desde su muerte han basado la construcción en un modelo de yeso a escala 1:10 de la nave principal que el arquitecto catalán construyó mientras estudiaba y perfeccionaba su diseño. "Diseñaba modelos de yeso de todo", dice Fauli. "Cuando construimos la nave principal, intentamos reproducir [su modelo de yeso]".

Todas las columnas tienen un "tambor" exterior, como lo llama Fauli, formado por una pieza de piedra o de concreto prefabricado. En el interior del tambor, los trabajadores colocaron concreto de alta resistencia sobre el acero de refuerzo. Así, el concreto prefabricado o la piedra, según el que se utilice en la fachada de la columna, se utilizó también como un encofrado permanente (Fig. 5 y 6).

(a)

(b)

Fig. 4: El interior de la catedral es una celebración a la luz: (a) Las columnas en forma de árbol y sus "ramas" bordean la nave principal, vista aquí mirando hacia el ábside. Se han construido cuatro tipos de columnas: las columnas en cada una de las cuatro esquinas del travesaño que soportan la torre de Jesucristo y parcialmente el peso de las cuatro torres de los Evangelistas; las columnas del ábside y de las naves; y las columnas que separan las naves laterales de la nave principal. (b) La nave longitudinal del lado de la fachada del Nacimiento de la *Sagrada Família* presenta vitrales que pasan gradualmente del amarillo al verde y al azul intenso.
(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)

Las 56 columnas que se elevan desde la planta baja y que ocupan el lugar de los arbotantes son también únicas al estar agrupadas a diferentes alturas con el fin de dar la apariencia de árboles y sus ramas (Fig. 4). Las columnas y las ramas transfieren el peso de la estructura abovedada y las torres centrales superiores a los cimientos del edificio. Estas columnas se construyeron con diversas clases de piedra, según Fauli, con concreto reforzado en el interior, como ya se ha señalado anteriormente. Las columnas de las ramas se construyeron con piezas de concreto prefabricado para el exterior y de concreto reforzado en el interior.

Fauli dice que su equipo construyó las columnas con piezas de piedra o de concreto prefabricado en exterior y con concreto reforzado en el interior, utilizando concreto de alta resistencia en las columnas más importantes, así como en la mayor parte del transepto y del ábside. “En la nave principal, conseguimos construir todas las columnas con concreto reforzado normal en el interior”, dice Fauli, “pero en el travesaño, necesitábamos usar el concreto de alta resistencia”.

Para la construcción de las ramas de las columnas del transepto y del ábside, los trabajadores emplearon piezas prefabricadas de concreto blanco con diferentes colores para construir la superficie exterior de las columnas (“tambores”) y lograr el mismo aspecto que las columnas de piedra en la planta baja. El sistema estructural de las columnas también permite que se abran las bóvedas para los tragaluces que llenan el interior de la catedral con llamativas bandas de luz natural. Estos tragaluces, diseñados por Gaudí en la década de 1920, tienen la singular forma de un hiperboloide, según se dice, fue la primera vez que se usó esta forma en la historia de la arquitectura.

Fig. 5: La construcción de las columnas interiores se completó por dentro de las fachadas existentes entre 1991 y 2003 *(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)*

Fig. 6: Se utilizaron “tambores” exteriores de piedra o de concreto prefabricado para formar los troncos y las ramas con núcleos de concreto reforzado *(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)*

Colocación de concreto a enormes alturas

La historia de las interrupciones y reinicios en la construcción de la *Sagrada Família* significó que, cuando en 1990 Fauli se incorporó al trabajo como arquitecto junior, sólo se habían construido tres de las 56 columnas interiores planeadas. En 1998, por primera vez se utilizó concreto de alta resistencia (resistencia característica de 80 MPa [11.600 psi]; con resistencia a la compresión a los 7 días de 45 MPa [6500 psi]) en la construcción de la catedral. También se ha utilizado concreto blanco de alta resistencia para la base de la bóveda central (colocada a una altura de altura de 80 m [262 pies]), así como en la construcción de las torres centrales.

Con la ayuda de moldes ligeros de fibra de vidrio recubiertos con un agente desmoldante a base de cera, los trabajadores han podido moldear in situ muchas partes de la catedral, como las bóvedas laterales y los elementos de la cúpula central, incluso a grandes alturas. Otros componentes se han prefabricado fuera de la obra.

El peso sigue siendo una preocupación constante en la construcción de la basílica. Las columnas inclinadas o "troncos de árbol" que se ramifican en innumerables ramas más pequeñas, sostienen las bóvedas y los techos, mucho más pesados, y transfieren la carga a los cimientos. Las bóvedas soportarán las torres centrales de la catedral, todas ellas tres veces más altas que las bóvedas sobre las que descansan. Esto crea una masa a una gran distancia del suelo y haría que la estructura sea vulnerable a los terremotos. "Desde 1985, la utilización de concreto reforzado en la iglesia se ha calculado para soportar los movimientos sísmicos", explica Fauli. "En las torres centrales, por ejemplo, los grandes paneles de piedra tensados por barras de acero resistirán los terremotos, y una estructura vertical de perfiles de acero y concreto reforzado colocada en las esquinas une los paneles y asegura la resistencia a las fuerzas sísmicas".

Fig. 7: Construcción de las torres centrales usando paneles de piedra pretensados reforzados mediante columnas de acero inoxidable unidas con concreto de alta resistencia*(© Fundació Junta Constructora del Temple de la Sagrada Família)*

En este sentido, el concreto armado de alta resistencia ha permitido una construcción más sencilla, ligera y rápida de las complejas geometrías de la *Sagrada Família*, al mismo tiempo que soporta una enorme carga de compresión sin tener que aumentar los diámetros de las ramas y columnas arbóreas y etéreas que adornan el interior de la iglesia.

Desde 2010, la filial del Heidelberg Cement Group con sede en Alemania, Hanson Hispania, ha sido el principal proveedor de concreto de la estructura cuando se necesitan grandes volúmenes, aunque la mezcla inicial para el concreto blanco de alta resistencia fue suministrada por Master Builders Solutions. Algunas otras compañías también han suministrado concreto, entre ellas PROMSA y Escofet. Generalmente, el concreto se fabrica en la planta de producción in situ de la *Sagrada Família*.

Según Villa, los proporcionamientos de mezcla para los componentes del concreto de alta resistencia son:

- 475 kg/m³ (800 lb/yd³) de cemento;
- 1030 kg/m³ (1736 lb/yd³) de grava (5 a 12 mm [0,2 a 0,5 pulg.]);
- 800 kg/m³ (1348 lb/yd³) de arena (0 a 5 mm [0 a 0.2 in.]);
- 30 kg/m³ (51 lb/yd³) de microsílice (humo de sílice);
- 150 kg/m³ (252 lb/yd³) de agua; y
- 12 L/m³ (2.4 gal./yd³) de aditivo reductor de agua de alto rango.

Cuando se emplea concreto blanco, los proveedores deben tener cuidado para evitar cambios de color y textura. Así, los camiones de concreto deben limpiarse a fondo antes de cargar cada nuevo lote.

Construcción de las últimas piezas de la Basílica

La fachada de la Gloria, que estará al pie del diseño de la cruz latina de la catedral, será hecha en su mayor parte de piedra, pero con elementos colados de concreto gris de alta resistencia. Dieciséis grandes hiperboloides de piedra se apoyarán en columnas inclinadas en forma de árbol (la misma piedra pretensada usada para las torres centrales), con bóvedas y arcos de concreto reforzado de alta resistencia. Los trabajadores comenzaron a construir las seis torres centrales en 2014. Las caras de las torres consisten en piedra pretensada con las barras colocadas en el interior, pero la parte estructural utilizada para unir los diferentes paneles de piedra es de acero y concreto de alta resistencia. El primer panel de piedra de las torres se colocó en 2016. La estructura principal de las torres de los Evangelistas, la torre de la Virgen María y la torre de Jesús se compondrá de esta piedra policromada pre y postensada (con varillas de acero inoxidable de ultra alta resistencia) procedente de canteras de diversas locaciones en Europa, seleccionada para imitar el aspecto de la piedra arenisca original de Montjuïc que Gaudí empleó en la construcción de la catedral durante su vida. Las seis torres están conformadas por 900 paneles de piedra pretensada reforzados por columnas de acero inoxidable.

Siguiendo las propuestas de Gaudí para el futuro, los arquitectos basaron el diseño de las torres en la bóveda de la sacristía (que existe en una maqueta original de Gaudí), extendiendo esencialmente su diseño a las grandes alturas de las torres. La bóveda de la sacristía y las torres son la intersección de paraboloides que contienen ventanas triangulares. En la sacristía hay cinco pisos, pero la tecnología actual ha permitido eliminarlas en las torres centrales, según Fauli. Las estructuras de las torres de la Virgen María y de Jesucristo abarcarán un espacio libre de 60 m (197 pies) sin pisos.

Fauli explica que los paneles de piedra y acero son producidos y preensamblados en una instalación de montaje a las afueras de Barcelona. Una vez instalados los paneles de piedra y acero (Fig. 7), los equipos colocan el concreto de alta resistencia que une los paneles.

El concreto blanco de alta resistencia, parcialmente recubierto por piezas cerámicas azules conformarán la parte principal de la terminal o pináculo de la torre de la Virgen María. Villa dice que el equipo seleccionó el concreto blanco tanto por su textura como por su alta resistencia a los fenómenos meteorológicos. Fauli confirma que la torre de la Virgen María estará terminada a finales de 2021.

Las 14 esquinas de los paneles de piedra están compuestas por concreto de alta resistencia, y algunas partes de la torre están compuestas también de concreto. “El pináculo está conformado en tres partes”, explica Fauli. “Los primeros 6 metros [presentan] un exterior de piedra con una estructura interna de concreto reforzado, mientras que los siguientes 18 metros se componen de un pináculo de concreto reforzado parcialmente recubierto de cerámica”. Por último, en la estrella de 12 puntas de acero y vidrio texturizado que será prefabricada en una planta y en la propia obra, y que luego será colocada con una grúa.

Los pináculos en las torres de los Evangelistas contarán con representaciones bíblicas tradicionales, como el hombre, el león, el toro y el águila, todos con alas. Las alas del águila tendrán una envergadura de 7 m y se construirán con concreto blanco de alta resistencia prefabricado. La torre de Jesucristo será la más alta y estará coronada por una cruz de 17 m (56 pies) de altura.

Un siglo y medio de historia

La *Sagrada Família* fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2005. Actualmente ocupa unos 9700 m² (104,400 pies²). Cuando esté completamente terminada, su superficie ocupará una manzana completa de la ciudad y será la catedral más alta del mundo.

Fauli dice que los más de 140 años que ha tomado la construcción de la *Sagrada Família* ha sido una bendición en muchos sentidos. “Gaudí habría tenido que utilizar materiales masivos para construir la catedral”, explica. “Ahora tenemos la oportunidad de encontrar la mejor técnica para cada elemento. Estamos construyendo las torres centrales, por ejemplo, con piedra pretensada. Si hubiéramos construido 20 años antes, esto no habría sido posible”.

Pero, como señala Fauli, Gaudí siempre intentaba aprovechar los nuevos materiales de construcción. Construyó una de las agujas de la fachada del Nacimiento en concreto revestido con piezas de cerámica de colores. “[La *Sagrada Família*] fue un reto para el futuro”, dice Fauli. “Gaudí siempre pensaba en el futuro y en las nuevas técnicas que ayudarían a la construcción”.

Deborah R. Huso, es Directora Creativa y socia fundadora de WWM, Charlottesville VA, EUA. Ha escrito para diversas publicaciones de negocios y de consumo, como publicaciones comerciales y de consumo, como Precast Solutions, U.S. News and World World Report, Concrete Construction, y Construction Business Owner. Ella ha creado sitios web y estrategias de contenido para varias empresas de la lista Fortune 500, incluyendo Norfolk Southern y GE.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Noreste de México

Título: Estructura de proporciones bíblicas

Traductor:
Lic. Iliana Garza Gutiérrez

Revisor Técnico:
Ing. Elissa Narro Aguirre

ARTÍCULO

3 TRES

Un caso de estudio de muros de corte de concreto prefabricado.

Construcción de las instalaciones de llegadas internacionales para el Aeropuerto Internacional de Seattle-Tacoma

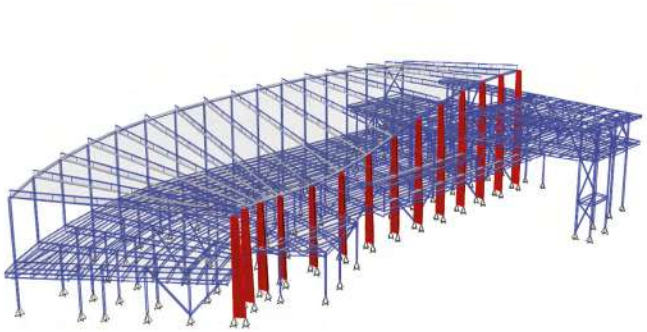
Por: Anthony P. Harasimowicz

Las nuevas y ampliadas Instalaciones de Llegadas Internacionales (IAF, por sus siglas en inglés) del Aeropuerto de Seattle en Sea Tac, WA, EE. UU., están dirigidas a un crecimiento continuo al aumentar significativamente el número de puertas con capacidad internacional y la capacidad de pasajeros. Una característica única del edificio de la terminal principal de la IAF, fue la incorporación de 37 muros de corte de concreto prefabricado a lo largo del lado oeste de la estructura. Estas paredes están expuestas a la vista en el interior y exterior del edificio, por lo que era esencial un acabado de calidad. Las unidades tienen 2 pies (0,6 m) de espesor y 8 pies (2,4 m) de ancho en la base con extremos redondeados, y cada pared tiene una altura única, hasta un máximo de 80 pies (24 m).

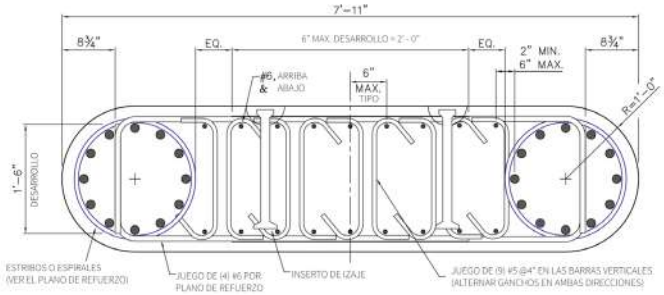
Los desafíos de diseño y erección incluyeron:

- Los diseños de los muros tenían una geometría variada: uno de los extremos redondeados estaba inclinado sobre gran parte de la altura, y cada pared tenía una altura diferente para soportar el techo inclinado / curvo.
- Se produjeron y modificaron encofrados de acero adaptados a cada muro.
- Las paredes contenían acoples para barras soldadas en la base, con refuerzos complicados y una variedad de elementos embebidos para las conexiones de vigas de ala ancha, conectores y pórticos de marcos arriostrados. Muchos de estos embebidos fueron necesarios en los extremos redondeados de las paredes;
- El equipo de ingeniería estructural trabajó en estrecha colaboración con Concrete Technology Corporation, Tacoma, WA, a lo largo del diseño y los detalles de las paredes para permitir que las barras de refuerzo fueran configuradas para ayudar a facilitar la construcción de las armaduras.
- Todas las paredes fueron fundidas horizontalmente, con superficies encofradas en un lado largo y los dos extremos de lado redondeado. El otro lado largo se completó manualmente con un acabado duro-allanado. Los lados con acabado expuesto fueron diseñados para ver hacia a la dirección del flujo de pasajeros de la terminal. Las superficies terminadas manualmente (las “espaldas” de las paredes) incorporaron los anclajes para el izaje, utilizadas para la manipulación y la erección de los muros;
- Los muros fueron transportados al sitio usando remolques de transporte especializados y la erección se completó utilizando dos juegos de anclajes de izaje (un juego para la descarga de camiones y otro para el levantamiento y colocación).
- Cada pared incorporaba una placa base adicional que se soldaba a la placa de anclaje fundida en la parte inferior de la pared. Esto permitió que cada pared se fijara y anclara a la base utilizando las tradicionales varillas de anclaje coladas en sitio. Las paredes se instalaron

rápidamente sin problemas, lo que fue fundamental para el programa general, permitiendo que la erección de estructura de acero se llevara a cabo después de cada grupo de paredes.



Modelo estructural parcial de la FAI, mirando hacia el sureste. Las paredes de corte de hormigón prefabricado, que se muestran en rojo, variaron en altura para que coincida con la geometría enlazada del techo.



Una sección típica de pared de hormigón y una jaula de refuerzo ensamblada.

Los acopladores para las varillas de refuerzo se soldaron a placas de acero para conectar barras longitudinales en la base de cada pared.

Operarios colocando anclajes en el encofrado de acero. Una vez colocada la armadura, las mitades superiores de los bordes redondeados se atornilla para formar los extremos de 180 grados del muro.

Los muros pesaban de 41 a 85 tons y se transportaban al sitio mediante transportes especiales.

Las unidades de pared se manejaron utilizando inserciones coladas colocadas en el lado terminado manualmente, y se anclaron a los cimientos utilizando varillas de anclaje fundidas en su lugar.

Una vista de las paredes (muros) a medida que el proyecto se acerca a su finalización.

Anthony P. Harasimowicz es gerente de proyectos de KPFF Consulting Engineers, Seattle, WA, EE. UU. Recibió su Licenciatura y maestría en ingeniería civil en la Universidad de Syracuse, Syracuse, NY, EE. UU. Harasimowicz tiene más de 24 años de experiencia en diseño estructural y gestión de proyectos y es un ingeniero profesional con licencia en Washington.

Créditos del proyecto

- **Arquitecto**: Skidmore, Owings &Merrill
- **Ingeniero:** KPFF Consulting Engineers
- **Contratista**: Clark Construction Group, LLC
- **Proveedor prefabricado**: Concrete Technology Corporation
- **Proveedor de encofrados**: Helser Industries

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Costa Rica

Título: Un caso de estudio de muros de corte de concreto prefabricado.

Traductor:
Ing. Edgardo Siles Morales.

Revisor Técnico:
Ronald Steinvorth Sauter.

ARTÍCULO

4 CUATRO

Encofrado producido usando manufactura aditiva

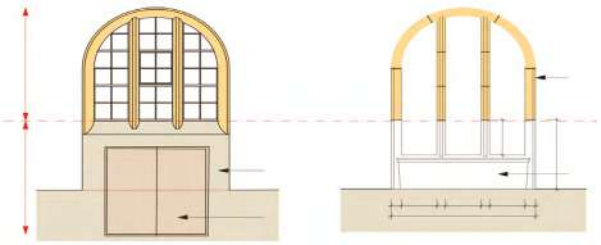
Aplicación de un proceso del siglo XXI a un proyecto de restauración histórica

Las restauraciones de edificios pueden ser un desafío. Geiger Group se enfrentó a tales retos cuando tuvo a cargo la conversión de Allgäuer Brauhaus, una cervecería histórica en Kempten, Baviera, Alemania, en un espacio de oficinas y eventos. Geiger Group, fundado en 1923 y con sede en Oberstdof, se especializa en el desarrollo inmobiliario, la construcción y la ingeniería civil. El proyecto de la cervecería creó un desafío: la necesidad de reemplazar cinco grandes marcos de ventanas de piedra conservando la estética original de la fachada histórica.

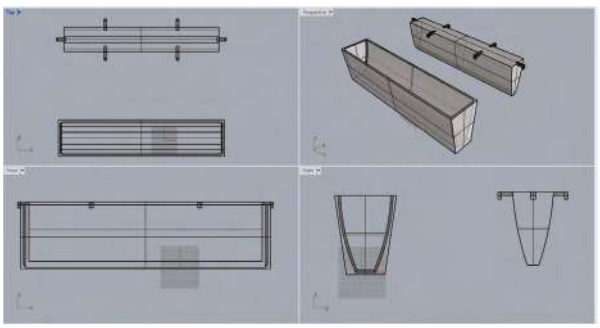
El método tradicional para tal proyecto sería reconstruir los marcos utilizando mampostería de piedra. Si bien dicha construcción puede producir excelentes resultados, requiere mucho tiempo, trabajadores altamente calificados y es costosa. Otra opción más económica sería reconstruir los marcos utilizando elementos de hormigón usando encofrado revestido de resina fabricados a partir de bloques de espuma de poliestireno expandido. Sin embargo, la profundidad de los marcos en este proyecto significó que no sería posible realizar el encofrado a partir de una sola pieza de espuma. Por lo tanto, se tendrían que producir varias piezas, lo que aumentaría los costos y el tiempo de terminación.

Debido a que el proyecto tenía un cronograma ajustado, Geiger se acercó a BigRep GmbH para explorar una tercera opción. BigRep es un productor de impresoras y materiales de impresión industriales de gran formato tridimensionales (3-D).

El equipo de expertos de BigRep trabaja para crear soluciones de aplicaciones industriales personalizadas utilizando métodos y procesos de producción de vanguardia, como la manufactura aditiva. Como actor clave en la esfera de la investigación, el equipo de investigación y consultoría de BigRep está liderando la búsqueda para descubrir el futuro de la fabricación industrial y productos.

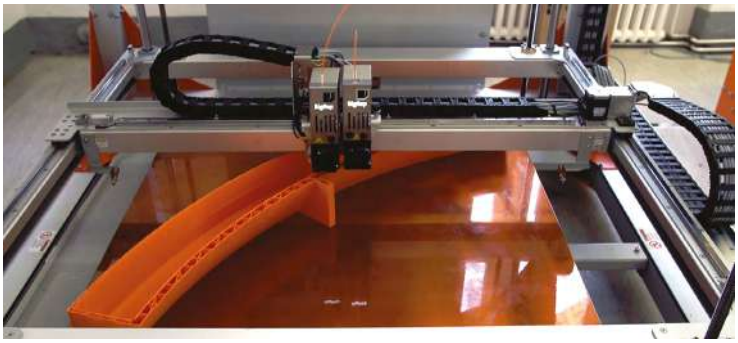


La restauración de la histórica cervecería requirió el reemplazo de elementos grandes de cinco marcos de ventanas.



“Modelos 3D del encofrado fueron generados para los elementos personalizados del marco de la ventana”

Después de discutir las posibilidades, BigRep y Geiger acordaron colaborar en los marcos de las ventanas y elaboraron elementos de marco de hormigón a través del siguiente proceso:



Un elemento de encofrado toma forma dentro de una impresora 3-D.

Producción de un elemento de marco de ventana.

Elementos de hormigón se ensamblaron e instalaron en el sitio del proyecto.

Los marcos de las ventanas casi terminados. Después de que se aplicaron morteros a las juntas, los marcos fueron pintados para completar la restauración de la fachada.

- Geiger proporcionó a BigRep archivos de diseño asistido por computadora (CAD) que especificaban la geometría de los marcos de las ventanas;

- BigRep trabajó a partir de estos archivos para generar un patrón digital (código G) para los componentes del encofrado utilizando un software de corte de impresión 3D;

- BigRep imprimió el encofrado para la cervecería en una impresora BigRep ONE, tomando ventaja de su volumen de producción de 1m³ (1.3 yd³) y utilizando el filamento biodegradable de ácido poliláctico (PLA) de BigRep como material de impresión."

- Los encofrados se enviaron a un productor de concreto para moldear los elementos del marco de la ventana; y

- Los elementos del marco se enviaron al sitio de construcción, donde se ensamblaron e instalaron las distintas secciones. Aunque el cliente proporcionó archivos CAD para este proyecto, debe tenerse en cuenta que BigRep puede producir alternativamente archivos CAD y encofrados utilizando escaneos 3D de piezas de plantilla.

- Geiger estima que los elementos del marco de la ventana producidos mediante el proceso de BigRep cuestan un 50% menos de lo que costarían de un albañil, con un tiempo de producción un 45% más corto que si Geiger hubiera optado por la opción de encofrado de espuma recubierta. Geiger también pudo reducir considerablemente los recursos de personal necesarios para el proyecto. Combinado con un acabado de alta calidad, el proceso fue la solución perfecta para Geiger.

— Geiger Unternehmensgruppe, **www.geigergruppe.de**
— BigRep, **www.bigrep.com**

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Ecuador Centro y Sur

Título: Encofrado producido usando manufactura aditiva

Traductor y Revisor Técnico:
Ing. Santiago Velez
Guayasamin, MSc DIC.

ARTÍCULO 5 CINCO

Concreto P y R

Coordinar Tolerancias

P. ¿Quien es responsable de la coordinación de tolerancias en un proyecto: el diseñador o el constructor?

R. Las tolerancias establecen las variaciones permisibles en dimensiones y ubicación, proporcionando a ambos, al diseñador y al constructor, los límites dentro de los cuales el trabajo debe ser ejecutado. El diseñador especifica las tolerancias para transmitir al constructor las expectativas de desempeño sobre las cuales el diseño está basado o que el proyecto requiere.

Las tolerancias de un subcontratista no prevalecen sobre las tolerancias de otro subcontratista. Si bien, no se requiere ninguno para lograr la perfección, cada una es requerida para completar el trabajo de acuerdo a la tolerancia especificada para el trabajo que ellos han acordado proveer. Ciertamente los subcontratistas no pueden ajustarse a las tolerancias de los demás durante el trabajo. Cada contratista ha ofertado el proyecto basado en sus tolerancias especificadas (únicas), y es probable que cualquier cambio en las tolerancias durante la construcción sea costoso y extienda el cronograma.

Como se confirma en los siguientes documentos, es responsabilidad del Arquitecto/Ingeniero, no del constructor general, determinar la compatibilidad de las tolerancias previo a emitir las especificaciones del proyecto y aceptar ofertas:

- ACI 347R-14, Sección 5.3.1[1], establece: “El Ingeniero/Arquitecto debe ser responsable de coordinar las tolerancias para el trabajo en concreto con los requerimientos de tolerancias de otros procesos cuyo trabajo está relacionado con la construcción de concreto.

- ACI 117-10(15)[2] Comentarios establece: Compatibilidad- Se advierte a los diseñadores que utilicen acabados y detalles arquitectónicos que sean compatibles con el tipo y método de construcción previsto. El acabado y los detalles arquitectónicos utilizados deben ser compatibles con las tolerancias del concreto alcanzables.

- ASCC Declaración de posición # 18[3] “Los constructores coordinan su propio trabajo, pero no son responsables por el ajuste de tolerancias o asegurar que las tolerancias para el trabajo de

otros trabajos son compatibles con su propio trabajo. Solamente el profesional diseñador puede decidir que tolerancias son razonables y compatibles"; y

- ACI 117.1R-14, Sección 3.2.2,[4] establece: "Es fundamental que el Arquitecto/Ingeniero tenga en cuenta los requisitos de tolerancia en los documentos de contrato y desarrolle detalles que proporcionen las holguras requeridas y la capacidad de ajuste entre el concreto y otros elementos de construcción."

Si bien el Arquitecto/Ingeniero no tienen una tarea fácil, existen algunas oportunidades para hacer esa tarea más fácil. Estas incluyen realizar una revisión del proceso constructivo, realización de reuniones de coordinación de tolerancias y utilizando un fondo de reserva acordado.

Revisión de Constructibilidad – Karlson y otros[5] define constructabilidad como una integración eficaz y oportuna del conocimiento de la construcción con concreto, en la planificación conceptual, diseño y la construcción de un proyecto para alcanzar los objetivos generales del proyecto en el mejor tiempo posible, con la mayor seguridad, y con el nivel de calidad más rentable. Por lo tanto, una revisión de constructabilidad debe incluir a personas con experiencia en concreto, así como a personas con experiencia en materiales y sistemas que interactúan con el concreto construido. Además, las reuniones de revisión deben ocurrir en las fases de planificación y diseño. Otros procesos que podrían interactuar con el concreto, incluyendo, la mampostería; sistemas de acabado interior y exterior; y quizás sistemas mecánicos, eléctricos y de plomería.

Reuniones de Coordinación de Tolerancias – ACI 117.1R, recomienda una reunión de coordinación de tolerancias previo a la construcción que incluya al propietario, constructor general, gerente de la construcción, arquitecto/ingeniero, contratista del concreto, y todos los demás subcontratistas cuyo trabajo interactuará con la construcción de los elementos de concreto. Los asistentes deberán atender las preguntas de compatibilidad de tolerancias anticipadas y los conflictos aplicables a su trabajo para que los problemas de tolerancias sean resueltos previo a la construcción del concreto. La resolución de problemas de tolerancias después de la asignación del contrato puede resultar en cambios que deban hacerse a los términos del contrato, los cuales pueden afectar a una o más de las partes involucradas.

Usando un Fondo de Reserva – Un fondo de reserva acordado, es un concepto popular que se utiliza para la coordinación del trabajo de la División 3 y la División 9, para revestimientos de pisos.[6] Si bien el contratista del concreto puede cumplir con sus tolerancias, medidas dentro de las 72 horas, los contratistas de revestimientos de piso llegarán al sitio de 3 a 9 meses después. Las deflexiones a corto y largo plazo pueden cambiar el trabajo del contratista del concreto, resultando desafíos para el contratista de revestimiento de pisos. Como resultado, muchos documentos contractuales, ahora prevén una asignación de fondo de reserva para cubrir la brecha entre el trabajo de la División 3 y División 9 debido a las deflexiones. Este concepto puede ser extendido a la coordinación del trabajo de la División 3 con otros sistemas de acabado interior y exterior.

Un fondo de reserva, advierte al propietario que la coordinación, si se requiere, tendrá costos; permite que las licitaciones se ejecuten en igualdad de condiciones; y permite que el propietario se quede con el fondo de reserva si no se necesita. Actualmente, este enfoque está respaldado por las siguientes organizaciones:

- Asociación de Contratistas de Pisos
- Asociación Nacional de Contratistas de Azulejos
- Asociación Nacional de Pisos de Madera
- Sindicato Internacional de Albañiles y Artesanos
- Asociación de América de Contratistas de Azulejo
- Instituto Internacional de Mampostería

Otros trabajos que pueden ser afectados, pueden incluir paredes interiores, techos y estuco (todos cubiertos en la División 9) y muros cortina (División 8). Los cambios de volumen y temperatura pueden causar cambios de ubicación en vigas y columnas perimetrales mientras el trabajo progresa.

Muchos edificios de varios pisos tienen pisos post -tensados que se acortan con el tiempo[4,7,8] y, como resultado cambia la ubicación del borde de la losa y el alineamiento de la columna (plomada).

ACI 117.1R indica que la ubicación del borde de la losa puede moverse (acortarse) tanto como 1 ½ pulgada (38 mm) de su ubicación original. Estos cambios, con el tiempo necesitan ser considerados en el diseño cuando se consideran las tolerancias y detalles arquitectónicos.

Al determinar la compatibilidad de las tolerancias para las estructuras de concreto y los acabados exteriores como el yeso exterior, hay dos cuestiones que exigen consideración. Como se indica en le declaración de posición ASCC #18, hay diferentes tolerancias para plomadas en ACI 117 y en ASTM C926-20.[9] ASTM C926, indica una tolerancia de plomada para concreto de ¼ pulgada en 10 pies (6 mm en 3 m), mientras ACI 117 permite una tolerancia de 3/8 pulgada en 10 pies (9.5 mm en 3 m). Este conflicto debe ser abordado por el Ingeniero/Arquitecto, antes de iniciar la construcción.

Además, la tolerancia de ACI 117 para compensaciones, es frecuentemente mal interpretada. Las tolerancias para compensaciones originadas en el Comité 347, Formaletas, con ACI 347-68, sección 3.3.8[10] la cual establece: Los desplazamientos y terminaciones, resultantes de formas desplazadas, no coincidentes o mal colocadas, revestimientos o defectos en los materiales de formación, se consideran irregularidades abruptas. Las compensaciones son generadas por formas no coincidentes en una sola ubicación, por lo que las tolerancias de compensación no se aplican a las discontinuidades en las juntas de construcción o diferencias entre los bordes de losa y ubicaciones de columnas.

En conclusión, la coordinación de tolerancias es una responsabilidad de diseño. Si bien los inconvenientes potenciales se pueden mitigar mediante comunicación abierta y reparaciones, la reparación es una obligación contractual no asignada a ningún subcontratista específico. Además, las acciones correctivas deben ser aprobadas por la autoridad de diseño antes de su ejecución.

La inclusión de una cláusula o una concesión para reparaciones en el documento del contrato también puede ser útil.

Las preguntas en esta columna fueron planteadas por usuarios de documentos del ACI y han sido respondidas por el Staff de ACI o por un miembro o miembros de los Comités Técnicos de ACI. Las respuestas no representan la a posición oficial de un Comité de ACI. Comentarios pueden ser enviados a **rex.donahey@concrete.org.**

Referencias

1. ACI Committee 347, “Guide to Formwork for Concrete (ACI 347R-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 36 pp.

2. ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (ACI 117R-10) (Reapproved 2015),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.

3. ASCC Position Statement #18: “Concrete Tolerance Coordination,” American Society of Concrete Contractors, St. Louis, MO, 2009, 1 pp.

4. ACI Committee 117, “Guide for Tolerance Compatibility in Concrete Construction (ACI 117.1R-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 47 pp.

5. Karlson, L.G.; Connolly, E.F.; Garcia, C.M.; and Suprenant, B.A., “Defining Concrete Constructability,” Concrete International, V. 40, No. 10, 2018, pp. 32-33.

6. ASCC Position Statement #6: “Division 3 versus Division 9 Floor Flatness Tolerances,” American Society of Concrete Contractors, St. Louis, MO, 2003, 1 pp.

7. “Construction Tolerance Conflicts in Reinforced Concrete,” Engineering Data Report No. 40, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 1995, 4 pp.

8. Suprenant, B.A., and Malisch, W.R., “Effect of Post-Tensioning on Tolerances,” Concrete International, V. 31, No. 1, Jan. 2009, pp. 58-65.

9. ASTM C926-20, “Standard Specification for Application of Portland Cement-Based Plaster,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 14 pp.

10. ACI Committee 347, “Proposed Revisions to ACI 347-68: Recommended Practice for Concrete Formwork,” ACI Journal Proceedings, V. 74, No. 9, Sep. 1977, pp. 397-434.

Agradecimiento a Bruce Suprenant, Technical Director at the American Society of Concrete Contractors, St. Louis, MO, USA, and Vice Chair of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, por proporcionar la respuesta a esta pregunta.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Guatemala

Título: Concreto P y R

Traductor y Revisor Técnico:
Xiomara Sapón-Roldán

24 HORAS DE CONOCIMIENTO DE CONCRETO

Únete al esfuerzo del American Concrete Institute y sus 24 Capítulos Internacionales participantes así como otras instituciones patrocinadoras, en estas 24 horas continuas de conferencias sobre temas relevantes de concreto.

Registro gratuito en concrete.org

Iniciamos Julio 13 de 2021 a las 3 pm EDT.

aci American Concrete Institute
Always advancing

CONCRETO
LATINOAMÉRICA