

CONCRETO

LATINOAMÉRICA

MARZO 2021

Volumen II - Número 3

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

1. Rehabilitación del Acueducto de Conococheague

Concreto decorativo utilizado para replicar características históricas
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Centro-Sur.

Pág
7

2. Cambios en los Requisitos en el ACI 318 para las Estructuras Sismo Resistentes, Parte 1

Cambios en las secciones que gobiernan los sistemas estructurales, en los empalmes mecánicos y en el diseño de pórticos resistentes a momento
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Colombia.

Pág
14

3. El REACH en el Kennedy Center

Comparación entre diseño y ensayos.
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo México Noroeste

Pág
26

4. Curado de hormigón decorativo con calentadores hidrónicos

Preguntas y respuestas Concretas
Traducción y revisión técnica a cargo del Capítulo Ecuador Centro-Sur

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

Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís
LDI. Luis Yerel Romo Valdez

Auxiliar de Diseño:

Silvia Elizabeth Olivares Araiza

Coordinadora de Traducciones:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

Comunicación y Logística:

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”.

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 **Marzo de 2021**. El Instituto no se hace 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
Colombia

Costa Rica
Ecuador Centro y Sur
Guatemala

México Noreste
México Noroeste
México Centro y Sur
México Sureste
Perú
Puerto Rico

Ing. Raúl Bertero
Ing. Nancy Torres Castellanos
Ing. Fabían Lamus Báez
Ing. Minor Murillo
Ing. Santiago Vélez Guayasamín
Ing. Luis Alvarez Valencia
Ing. Xiomara Sapón
Ing. José Lozano y Ruy Sánchez
Ing. Alejandra Valencia
Ing. Alma Reyes Zamorano
Ing. Josseph Mandujano
Ing. Luciano López Vinatea
Ing. Anabel N. Merejildo

*Fotografía de portada que corresponde a vista del extremo opuesto del Skylight Pavilion después de remover el encofrado y el apuntalamiento. La estructura del techo incluye vigas de transferencia para acomodar las aberturas de los tragaluces.



¡Únete Hoy!
Conoce tu capítulo
local ACI

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



Rehabilitación del Acueducto Conococheague

Concreto decorativo utilizado para replicar características históricas

El histórico Acueducto Conococheague en el Canal Chesapeake y Ohio en Williamsport, MD, Estados Unidos de Norteamérica, se rehabilitó para que tuviera la apariencia que tenía en 1920, utilizando una combinación de materiales y métodos históricos y modernos. El proyecto fue ganador del primer lugar en la categoría de Reparación y Restauración de los Premios ACI a la Excelencia en Construcción de Concreto. El Capítulo Maryland de la ACI registró el proyecto para la competencia.

De 1835 a 1924, este acueducto de tres arcos llevaba barcas sobre el Arroyo Conococheague, contiguo a la Cuenca de Cushwa. La restauración reciente incluyó la construcción de un canal de concreto con una réplica de un muro de madera con vigas estabilizadoras. En el lado ascendente, fuera de la Cuenca de Cushwa, se reacondicionó parte del canal. Se instaló un revestimiento sintético en el fondo, lo que le permitió al Servicio Nacional de Parques (NPS [por sus iniciales en inglés]) extender la sección aguas arriba del acueducto, dando a los navegantes espacio para girar y llevar a los pasajeros de regreso.

A la fecha el Acueducto Conococheague es el único lugar en los Estados Unidos en el que los visitantes pueden viajar a bordo de una embarcación a través de un acueducto histórico y de un bloqueo de canal de trabajo.

Métodos y Materiales de Construcción

Se apilaron sacos de arena alrededor de los muelles de piedra del puente para formar ataguías y se extrajo el agua de las áreas cerradas para permitirles a los trabajadores inyectar concreto en las secciones erosionadas del acueducto bajo el agua con el propósito de contar con un cimiento estable. Se dosificó el material de concreto utilizado en la losa base y muros del acueducto para cumplir con los

requerimientos de desempeño y estética del NPS, del propietario, así como con las necesidades de viabilidad de construcción de Corman Kokosing Construction Company, el contratista. El proyecto requirió un concreto altamente durable, de baja relación agua-cemento, bajo nivel de contracción, baja permeabilidad que tuviera alta trabajabilidad para su colocación en torno al denso acero de refuerzo y que pudiera dar cabida al estampado decorativo utilizado en la losa base y en los revestimientos de las cimbras utilizados en los muros.



Acueducto Conococheague antes de la reparación



Colocación de la losa base (fotografía cortesía de Thomas, Bennett & Hunter, Inc.)



Reforzamiento de muelles y contrafuertes



Una vista del lado del camino de sirga del acueducto que muestra el interior del muro de concreto que se estampó y tñió para darle apariencia de madera.



Acueducto Conococheague después de la construcción

La mezcla con inclusión de aire contiene cerca de una docena de distintos materiales y aditivos químicos, incluyendo reductores de agua de alto rango, reductores de contracción y aditivos integrales y cristalinos a prueba de humedad. Además, el concreto de la losa base contiene pigmento de color integrado y se utilizaron microfibras monofilamento para mitigar el riesgo de agrietamiento por contracción plástica durante el acabado.

Antes de la colocación, se verificaron las características de contracción de las mezclas mediante pruebas de laboratorio proporcionadas por Master Builders Solutions (antes BASF) en sus instalaciones de Cleveland, Ohio, Estados Unidos. Se colocaron más de 350 yd³ (286 m³) de la mezcla en un período de 4 meses, con cero cargas rechazadas y roturas de cilindros por baja resistencia. Thomas, Bennett & Hunter, Inc. fue el proveedor de concreto.



Ceremonia del corte de listón

Uso de Concreto

Se repararon y reforzaron dos muelles y dos contrafuertes agregando refuerzos de acero inoxidable cubiertos de concreto. Las barras de refuerzo se tensaron alrededor de la roca firme para proteger el acueducto contra restregado.

El lado del camino de sirga del acueducto se revistió con concreto, se estampó para darle la apariencia de piedra y se reforzó con acero inoxidable. Se agregó un aditivo a la mezcla de concreto para impermeabilización. Se colocó un bond breaker [substancia que asegura la adhesión permanente] entre el muro de piedra histórico original y el muro de concreto moderno.

Una característica que sobresale es la berma ascendente del acueducto (muro del canal exterior). En 1920 una barcaza golpeó el muro de piedra original provocando que se colapsara hacia el Arroyo Conococheague. En 1920 la sección que se cayó fue reemplazada

con un muro de madera con vigas estabilizadoras. Se hizo una réplica en concreto de este muro, se estampó y tiñó para que diera la apariencia de la superficie de madera de las reparaciones hechas en 1920.

Reconocimientos

Gracias a ACI Capítulo Maryland y a Michael Paul, FCI, miembro del Comité 124 de ACI, Estética de Concreto por la presentación de este artículo.

Seleccionado por los editores para interés del lector.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección México Centro-Sur

Título: Rehabilitación del Acueducto de Conococheague



Traductor: Lic. Ana Patricia Medina



Revisor Técnico: M.I. Sergio Valdés Constantino

Cambios en los Requisitos en el ACI 318 para las Estructuras Sismo Resistentes, Parte 1

Cambios en las secciones que gobiernan los sistemas estructurales, en los empalmes mecánicos y en el diseño de pórticos resistentes a momento

por S.K Ghosh y Andrew W. Taylor

El Código “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19) y Comentario” conserva el formato establecido en la anterior edición.^{1,2} Sin embargo, el Capítulo 18, “ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES”, incorpora una serie de cambios sustanciales y significativos. De las catorce secciones del capítulo 18, únicamente permanecen sin cambio alguno las secciones: 18.1 “Alcance”, 18.5 “Muros estructurales intermedios de concreto prefabricado” y 18.9 “Pórticos especiales resistentes a momento contruidos con concreto prefabricado”. La sección 18.11 “Muros estructurales especiales contruidos usando concreto prefabricado” fue actualizada para incluir un solo cambio impulsado por la adición de un requerimiento en otra parte del capítulo. En contraste, la sección 18.10 “Muros estructurales especiales” fue sometida a una serie de cambios considerables.

En este y en un segundo artículo, se señalarán los cambios significativos a los que fue sometido el Capítulo 18 en relación con la edición anterior, utilizando la numeración de los encabezados del Código. Los textos subrayados y tachados indican adiciones y sustracciones, respectivamente. Cuando es necesario, se suministra una breve explicación y se discute la importancia del cambio. Se recuerda al lector que las secciones del Código se identifican mediante números con el punto como separador decimal, mientras que las secciones de “Comentario” incorporan la letra “R” a la numeración correspondiente de la sección del Código.

El presente artículo cubre los cambios en las secciones:

- 18.2 Generalidades;
- 18.3 Pórticos ordinarios resistentes a momento;
- 18.4 Pórticos Intermedios resistentes a momento;
- 18.6 Vigas de pórticos especiales resistentes a momento;
- 18.7 Columnas de pórticos especiales resistentes a momento;
- 18.8 Nudos en pórticos especiales resistentes a momento;

La segunda parte (abril 2021) cubrirá los cambios en las secciones:

- 18.10 Muros estructurales especiales;
- 18.11 Muros estructurales especiales contruidos usando concreto prefabricado;
- 18.12 Diafragmas y cerchas
- 18.13 Cimentaciones
- 18.14 Miembros que no se designan como parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas

18.2 Generalidades

18.2.1 Sistemas estructurales

18.2.1.4 Las estructuras asignadas a la Categoría de Diseño Sísmico (CDS) C deben cumplir con 18.13 “Cimentaciones” en donde se especifican requerimientos para cimentaciones superficiales y profundas que sirven de soporte a edificaciones asignadas a CDS C.

R18.2 Se actualizó la Tabla R18.2 “Secciones del Capítulo 18 que deben cumplirse en aplicaciones típicas”.

18.2.6 Refuerzo en pórticos especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales

R18.2.6.1 Se añadió contenido extenso e importante para indicar que se permiten las barras de refuerzo ASTM A706 Grados 550 y 690 para resistir momento, carga axial y fuerzas cortantes en los muros estructurales especiales y en todos los componentes de muros estructurales especiales, incluyendo las vigas de acople y los machones de muro. También se permite el uso de acero ASTM A706 Grado 550 en pórticos especiales resistentes a momento. Sin embargo, se indica que no se permite el uso de barras de refuerzo ASTM A706 Grado 690 en pórticos especiales resistentes a momento debido a la carencia de datos que demuestren un comportamiento sísmico satisfactorio.

18.2.7 Empalmes mecánicos en pórticos especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales

18.2.7 Esta sección fue reformada estableciendo que los empalmes mecánicos se ubiquen por fuera de las zonas potenciales de formación de articulaciones plásticas, a menos que, se utilicen empalmes mecánicos Tipo 2 de Grado 420. El ACI-318-14 no establecía restricciones para los empalmes mecánicos Tipo 2 según el grado del acero debido a que 20.2.2.4 solo permitía el uso de refuerzo Grado 420 en sistemas sísmicos especiales.

R18.2.7 Esta sección fue modificada para señalar que los empalmes mecánicos Tipo 1 para cualquier grado del refuerzo y los empalmes

mecánicos Tipo 2 para refuerzo Grado 550 y Grado 690 pueden no tener la capacidad de resistir los niveles de esfuerzos esperados en regiones de fluencia y, por lo tanto, se restringe su localización. Al igual que en la pasada edición, la restricción aplica para todo refuerzo que resista efectos sísmicos, incluyendo el refuerzo transversal.

18.3 Pórticos ordinarios resistentes a momento

18.3.4 Los nudos viga-columna de pórticos ordinarios resistentes a momento que hacen parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas y que se encuentran en la categoría CDS B, ahora deben cumplir con los requerimientos del Capítulo 15 “NUDOS VIGA-COLUMNA Y LOSA COLUMNA”. El cortante en el nudo V_u debe ser calculado en un plano localizado a media altura del nudo, utilizando las fuerzas de tracción y compresión de la viga y el cortante de la columna, congruentes con las resistencias nominales a momento M_n de la viga (Fig. 1).

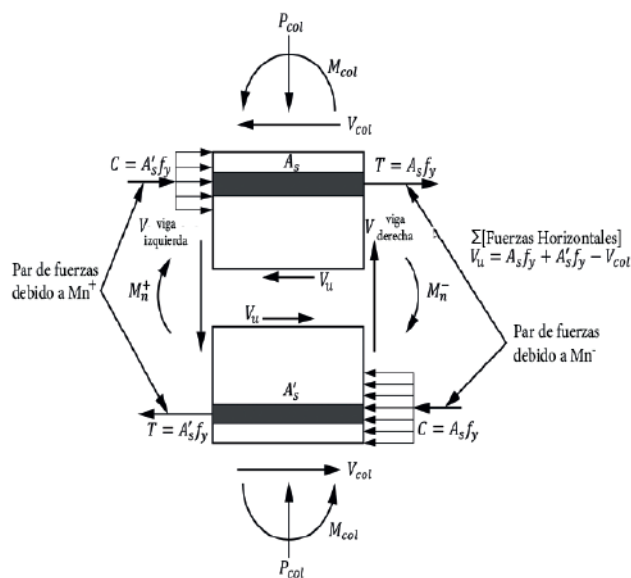


Fig. 1: Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del cortante factorizado V_u en el plano localizado a media altura del nudo en pórticos ordinarios e intermedios resistentes a momento.

18.4 Pórticos intermedios resistentes a momento

18.4.2 Vigas

18.4.2.3 El texto se modificó, ligeramente, para que concordara con los cambios introducidos en la Fig.

R18.4.2 de la sección “Comentario”, parte de la cual se reproduce en este artículo como Fig. 2. En la ilustración se muestra cómo el cortante factorizado en la viga V_u está dado por $V_u = (M_{nl} + M_{nr})/\ell_n + w_u \ell_n/2$, en donde $w_u = (1.2 + 0.2S_{DS})D + 1.0L + 0.2S$. En esta ecuación, el factor de la factorización de la carga muerta, 1.2, se incrementa con un $0.2S_{DS}$ con el fin de tener en cuenta los efectos sísmicos verticales. Este incremento en el factor de seguridad no se encontraba en la sección correspondiente del ACI-318-14.

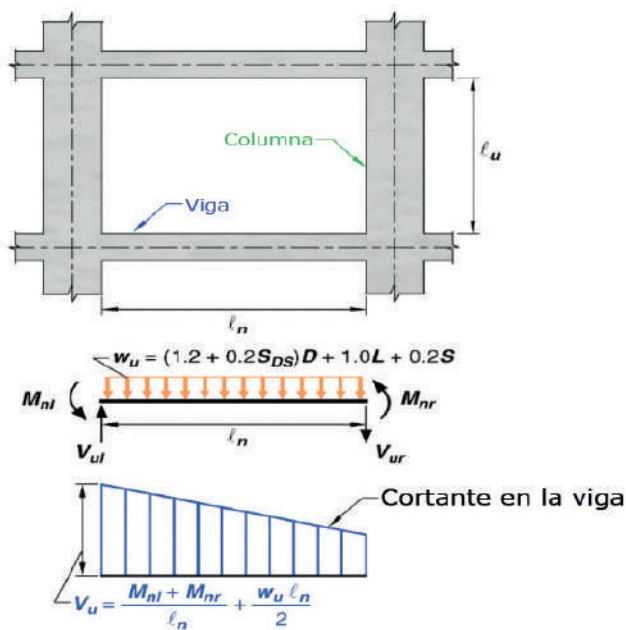


Fig. 2: Diagramas de cortante y momento para el cálculo del cortante sísmico en vigas de pórticos intermedios resistentes a momento (adaptado del ACI 318-19 Fig. R18.4.2')

18.4.3 Columnas

18.4.3.3 El ACI 318-14 establecía que el espaciamiento mínimo requerido para estribos cerrados de confinamiento en las zonas potenciales de formación de articulaciones plásticas correspondía al menor valor entre 8db de la barra longitudinal confinada de menor diámetro, 24db del diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento, la mitad de la menor dimensión de la sección transversal de la columna y 300 mm. En el ACI 318-19, para la zona previamente mencionada, el espaciamiento mínimo de los estribos cerrados de confinamiento se limita a la mitad de la menor dimensión de la sección transversal de la columna y:

- Para columnas con refuerzo longitudinal Grado 420, el menor valor entre 8db de la barra longitudinal confinada de menor diámetro y 200 mm.
- Para columnas con refuerzo longitudinal Grado 550, el menor valor entre 6db de la barra longitudinal confinada de menor diámetro y 150 mm.

18.4.4 Nudos

Se reformaron los requerimientos para nudos viga-columna en pórticos intermedios resistentes a momento y se añadieron las modificaciones correspondientes desde 18.4.4.2 hasta 18.4.4.5. Estos nudos ahora deben cumplir con los requerimientos establecidos en:

15.3.2.2 El refuerzo transversal del nudo debe consistir en estribos (25.7.2), espirales (25.7.3) o estribos cerrados de confinamiento (25.7.4).

15.3.1.3 Se deben colocar al menos dos capas de refuerzo transversal horizontal dentro de la profundidad de la viga de menor altura que llega al nudo.

18.4.4.2 Si una viga, que aporta y genera cortante en el nudo, tiene una altura h que excede el doble de la profundidad de la columna, el análisis y diseño del nudo debe basarse en el método de puntal-tensor de acuerdo con el capítulo 23.

18.4.4.3 El refuerzo longitudinal, que termina en un nudo, debe extenderse hasta la cara lejana del núcleo del nudo y desarrollarse en tracción de acuerdo con 18.8.5 y en compresión de acuerdo con 25.4.9.

18.4.4.4 El espaciamiento del refuerzo transversal del nudo dentro de la altura de la viga de mayor altura, que aporte el nudo, no debe exceder el espaciamiento máximo de estribos cerrados de confinamiento requeridos en la zona potencial de formación de articulaciones plásticas en el extremo de una columna de pórticos intermedios resistentes a momento (18.4.3.3).

18.4.4.5 Los nudos de esquina o nudos en forma de rodilla, para los cuales el refuerzo de la viga termina con barras corrugadas con cabeza, necesitan de consideraciones especiales. La falla del nudo puede darse por un agrietamiento en diagonal que se propaga más allá de la cabeza del refuerzo o por el desprendimiento del concreto de recubrimiento

en la cara superior del refuerzo (Fig. 3). La columna debe extenderse por encima de la parte superior del nudo, con el fin de confinarlo, al menos una distancia igual a la profundidad del nudo (tomando la dimensión de la columna, paralela al refuerzo de la viga que genera cortante sobre el nudo). Como medida alternativa a la extensión de la columna, el refuerzo de la viga deberá estar rodeado por refuerzo vertical adicional del nudo, que produzca un confinamiento equivalente a la cara superior del nudo. Este refuerzo corresponde, usualmente, a refuerzo vertical con ganchos alrededor de las barras de refuerzo superiores y que se extiende hacia abajo, dentro del nudo.

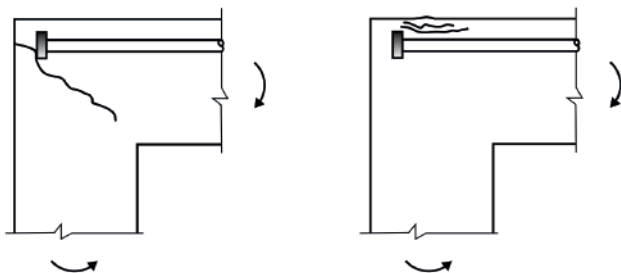


Fig. 3: Mecanismos de falla potenciales en los nudos de esquina con barras corrugadas con cabeza: (a) Agrietamiento en diagonal; y (b) desprendimiento del concreto en la cara superior del refuerzo

18.4.4.6 Los nudos losa-columna deben ahora cumplir con los requisitos de refuerzo transversal de 15.3.2, de manera que cualquier columna, con uno o varios bordes libres, deberá tener, al menos, una capa de refuerzo transversal entre el refuerzo superior e inferior de la losa en el nudo losa-columna.

18.4.4.7 La resistencia de diseño para cortante en nudos viga-columna en pórticos intermedios resistentes a momento deberá cumplir $\phi V_n \geq V_u$ en donde $\phi=0.75$ de acuerdo con 21.2.1; V_n es la resistencia nominal del nudo a cortante, dada en la Tabla 18.8.4.3 (reproducida en este documento como Tabla 1); y V_u es el cortante mayorado a media altura del nudo, calculado según lo presentado en la Fig. 1.

Tabla 1. Resistencia nominal del nudo a cortante V_n en el ACI 318-19¹ (Tabla 18.8.4.3)

Columna	Viga en la dirección de V_n	Confinado por vigas transversales de acuerdo con 15.2.8	V_n, N^*
Continua o que cumple con 15.2.6	Continua o que cumple con 15.2.7	Confinada	$1.7\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		No confinada	$1.3\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
	Otras	Confinada	$1.3\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		No Confinada	$1.0\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
Otras	Continua o que cumple con 15.2.7	Confinada	$1.3\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		No Confinada	$1.0\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
	Otras	Confinada	$1.0\lambda\sqrt{f'_c}A_j$
		No Confinada	$0.7\lambda\sqrt{f'_c}A_j$

* λ debe ser 0.75 para concreto liviano y 1.0 para concreto de peso normal. A_j debe calcularse de acuerdo con 15.4.2.4

18.4.5 Losas en dos direcciones sin vigas

18.4.5.8 El ACI 318-14 limitaba los esfuerzos cortantes causados por cargas gravitacionales mayoradas, sin transferencia de momento, a $0.4\phi v_c$ en las secciones críticas para columnas. Se estableció un nuevo límite de $0.5\phi v_c$ para las conexiones viga columna con postensado no adherido en donde el esfuerzo de compresión efectivo, en las dos direcciones, deberá cumplir con los requisitos de 8.6.2.1. Si la conexión losa-columna cumple con lo establecido en 18.14.5 podrá obviarse el requisito.

18.6 Vigas de pórticos especiales resistentes a momento

18.6.3 Refuerzo longitudinal

18.6.3.1 La cuantía máxima de refuerzo de 0.025 se restringe ahora a refuerzo Grado 420 y se impone una cuantía máxima de 0.02 para refuerzo Grado 550

18.6.4 Refuerzo Transversal

18.6.4.4 El ACI 318-14 limitaba el espaciamiento entre estribos cerrados de confinamiento en las zonas potenciales de formación de articulaciones plásticas, en los extremos de las vigas de pórticos especiales resistentes a momento, al menor valor entre $d/4$, $6db$ de la barra principal a flexión más pequeña, excluyendo el refuerzo superficial requerido

por 9.7.2.3, y 150 mm

En el ACI-318-19, el espaciamiento entre estribos cerrados de confinamiento en las zonas potenciales de formación de articulaciones plásticas, en los extremos de las vigas de pórticos especiales resistentes a momento, se limita al menor entre $d/4$, 150 mm y:

- 6db de la barra principal a flexión más pequeña para vigas con refuerzo a flexión Grado 420
- 5db de la barra principal a flexión más pequeña para vigas con refuerzo a flexión Grado 550

Debe indicarse que, al igual que en el ACI 318-14, db corresponde al diámetro nominal de las barras principales a flexión más pequeñas sin tener en cuenta el refuerzo superficial.

18.6.4.7 Como se expuso para el numeral 18.6.4.4, esta sección se actualizó para tener en cuenta el uso a flexión de acero de refuerzo Grado 550. Esta sección ahora restringe el espaciamiento entre estribos cerrados de confinamiento, s, por fuera de la zona definida en 18.6.4.1 al menor valor entre 150 mm y:

- 6db de la menor barra longitudinal, Grado 420, circundada de la viga
- 5db de la menor barra longitudinal, Grado 550, circundada de la viga.

18.7 Columnas de pórticos especiales resistentes a momento

18.7.3.1 Resistencia mínima a flexión de columnas

18.7.3.1 Las columnas de pórticos especiales resistentes a momento deben cumplir con el requerimiento de “columna fuerte-viga débil” según lo estipulado en 18.7.3.2 o 18.7.3.3 “excepto en conexiones donde la columna es discontinua por encima de la conexión y la fuerza axial mayorada de compresión P_u en las combinaciones de carga que incluyan efectos sísmicos, E , es menor que $A_g f'_c/10$ ”. La excepción que aparece subrayada es nueva en el ACI 318-19 y su correspondiente comentario, R18.7.3, explica que las conexiones con columnas discontinuas por encima de la conexión

con una baja carga axial son inherentemente dúctiles y es poco probable que la fluencia de la columna en esos niveles pueda crear un mecanismo de falla que conduzca al colapso. La sección de “Comentario” presenta un listado de factores relevantes, enfatizando, sobre los beneficios de cumplir con el requerimiento de “columna fuerte-viga débil”.

18.7.4 Refuerzo longitudinal

18.7.4.3 Esta es una nueva sección en la que se requiere que las barras longitudinales tengan una longitud de desarrollo no mayor que el 40% de la longitud libre de la columna. R18.7.4.3 explica que la falla por hendimiento puede controlarse reduciendo la longitud de desarrollo de las barras longitudinales en la longitud libre de la columna.

18.7.5 Refuerzo transversal

18.7.5.3 El ACI-318-14 limitaba el espaciamiento del refuerzo transversal, adentro de la zona potencial de formación de articulaciones plásticas (18.7.5.1) en los extremos de los pórticos especiales resistentes a momento, al menor valor entre: la cuarta parte de la dimensión menor de la columna, 6db de la menor barra de refuerzo longitudinal y un valor, calculado según 18.7.5.3, que oscilaba entre los 100 mm y 150 mm. En el ACI 318-19, el límite de 6db de la menor barra de refuerzo longitudinal de la columna aplica solo para refuerzo Grado 420 mientras que se requiere un límite, más estricto, de 5db de la menor barra de refuerzo longitudinal de la columna para refuerzo Grado 550.

18.7.5.5 Esta sección fue reformada de la manera mostrada a continuación: “Más allá de la longitud lo especificada en 18.7.5.1, la columna debe tener refuerzo en forma de espiral que cumpla con 25.7.3 o estribos cerrados de confinamiento y ganchos suplementarios, que cumplan con 25.7.2 hasta 25.7.4 y 25.7.4, con un espaciamiento, s, que no exceda al menor de 150 mm, 6db de la menor barra longitudinal Grado 420 de la columna y 5db de la menor barra longitudinal Grado 550 de la columna, a menos

establecía los mismos requerimientos de la sección 25.4.4.6

18.8 Nudos en pórticos especiales resistentes a momento

18.8.2 Generalidades

18.8.2.3 Este requisito está encaminado a minimizar el deslizamiento del refuerzo longitudinal en las vigas que se extienden a través del nudo viga-columna. Tanto en el ACI 318-14 como en el ACI 318-19, esto se logra estableciendo una profundidad mínima h del nudo, paralela al refuerzo longitudinal de la viga que se extiende sobre el nudo. En el ACI 318-14, la h se define en la Fig. 18.8.4 mientras que en el ACI 318-19, h se define en la Fig. R15.4.2 y está asociada con una sección 15.4.2 más extensa en donde se define la resistencia a cortante de diseño de los nudos viga-columna: En el ACI 318-19, la profundidad h debe ser al menos la mayor de:

- a) $(20/\lambda)$ db de la mayor barra longitudinal Grado 420, donde $\lambda=0.75$ para concreto liviano y $\lambda=1$ para todos los otros casos.
- b) 26db de la mayor barra longitudinal Grado 550.
- c) $h/2$ de cualquier viga que aporte y que genere cortante en el nudo como parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas en la dirección bajo consideración

El ítem a) replica los requerimientos establecidos en la sección 18.8.2.3 del ACI 318-14. El ítem b) es nuevo y el ítem c) define la profundidad del nudo h en términos de la altura de la viga como se hacía en la sección 18.8.2.4 del ACI 318-14 que removida en el ACI 318-19.

18.8.2.3 Corresponde a un nuevo requerimiento en donde se exige que los nudos con refuerzo longitudinal Grado 550 deben ser construidos en concreto de peso normal.

18.8.3 Refuerzo transversal

Los tres requerimientos de esta sección permanecieron sin cambios con respecto al ACI 318-14. Sin embargo, la sección 18.8.3.4, que correspondería a 18.4.4.5 en la ACI 318-19, fue eliminada porque

18.8.4 Resistencia a cortante

Esta sección es similar a la 18.4.4.7 del ACI-318-14 en la medida que dicta la manera como se debe evaluar la resistencia del nudo a cortante a través de $V_u \leq \phi V_n$. Sin embargo, los parámetros incluidos son exclusivos para los pórticos especiales resistentes a momento. En el ACI 318-19, las secciones 18.8.4.1, 18.8.4.2 y 18.8.4.3 definen la fuerza cortante V_u , el coeficiente de reducción de resistencia ϕ y la resistencia nominal del nudo a cortante V_n respectivamente. V_u debe calcularse según el diagrama de cuerpo expuesto en la Fig. 4; $\phi=0.85$ en conformidad con 21.2.4.4 y el valor de V_n se determinará según los valores expuestos en la Tabla 18.8.4.3 (reproducida en este documento como Tabla 1). En el ACI 318-14, estas secciones definían V_n de acuerdo con la Tabla 18.8.4.1 (reproducida en este documento como Tabla 2), las condiciones necesarias para que la cara de un nudo perteneciente a un pórtico resistente a momento se considere como “confinada” y el área efectiva de la sección transversal dentro del nudo. Estos dos últimos factores ahora se indican en las secciones 15.2.8 y 15.4.2.4 respectivamente.

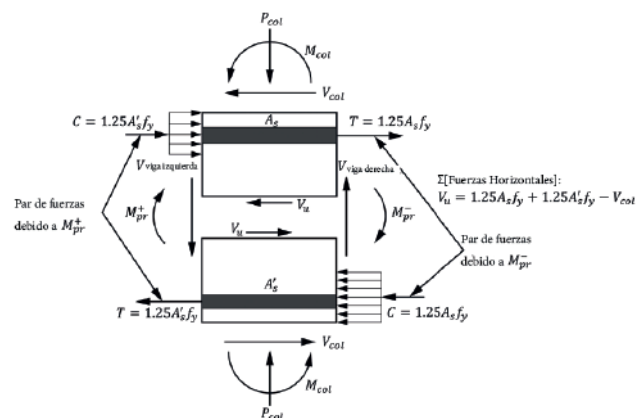


Fig. 4: Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del cortante mayorado V_u en el plano a media altura del nudo en pórticos especiales resistentes a momento.

18.8.5 Longitud de desarrollo de barras en tracción

18.8.5.2 Esta sección se encarga de la longitud de desarrollo para las barras corrugadas con cabeza,

que terminan en nudos exteriores de pórticos especiales resistentes a momento. Las modificaciones se presentan en el texto a continuación:

“Para barras corrugadas con cabeza que cumplan con 20.2.1.6, el desarrollo en tracción debe ser de acuerdo con 25.4.4 empleando un esfuerzo de $1.25f_y$ en la barra en lugar de f_y , excepto que se permite que la distancia libre entre barras sea al menos 3db o más.

R18.8.5.2 explica que el factor de 1.25 intenta representar el posible aumento en esfuerzos debidos a la respuesta que pueda ocurrir en vigas de pórticos especiales resistentes a momento. Como se establece en los requerimientos de 25.4.4.1 (f), el espaciamiento mínimo, centro a centro, de las barras es 3db (en contraste con el espaciamiento libre mínimo de 3db del ACI 318-14).

Tabla 2: Resistencia nominal del nudo a cortante V_n en el ACI 318-14² (Tabla 18.8.4.1)

Configuración del nudo	V_n
Para nudos confinados por vigas en sus cuatro caras [‡]	$1.7\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ [†]
Para nudos confinados por vigas en tres de sus caras o en dos caras opuestas*	$1.2\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ [†]
Para otros casos*	$1.0\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ [†]

*Véase 18.4.4.2

[†] λ debe ser 0.75 para concreto liviano y 1.0 para concreto de peso normal.

A_j debe calcularse de acuerdo con 18.8.4.3

Conclusiones

El Capítulo 18 “ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES” del ACI 318-19 incluye una serie de cambios sustanciales respecto a la edición precedente. El presente artículo reúne las modificaciones realizadas en las secciones, 18.2 “Generalidades” y 18.3 hasta 18.8, que gobiernan el diseño de pórticos ordinarios e intermedios resistentes a momento, así como los requisitos necesarios para el diseño de vigas, columnas y nudos de los pórticos especiales resistentes a momento. La gran mayoría de las modificaciones están relacionadas con la inclusión del acero de refuerzo ASTM A706 Grado 550 que se permite en la presente edición como

refuerzo a flexión en pórticos especiales resistentes a momento.

Agradecimientos

Pro Dasgupta, S.K. Ghosh Associates LLC (SKGA), Palatine, IL, US, aportó una completa revisión que mejoró considerablemente este artículo.

Bodhi Rudra, SKGA, proporcionó su muy valiosa ayuda para ensamblar el manuscrito.

Referencias

1. 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.
2. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 519 pp.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Colombia

Cambios en los Requisitos en el ACI 318 para las Estructuras Sismo Resistentes, Parte 1



Traductor: Ing. Juan Camilo Reyes Suárez



Revisor Técnico: Dr. Fabián Lamus Báez



S.K.Ghosh es miembro honorario del ACI, Presidente de S.K. Ghosh Associates LLC en Palatine, Illinois, USA y Profesor Adjunto de Ingeniería Civil en la Universidad de Illinois en Chicago. Es miembro del Comité ACI 318, Código para Edificaciones de Concreto Estructural y de los sub-comités 318F, Cimentaciones; 318-H, Provisiones Sísmicas; y 550-A, Diafragmas



Andrew W. Taylor, FACI, de KPFF Consulting Engineers en Seattle, Washington, USA. Tiene más de 30 años de experiencia como investigador y diseñador estructural. Es presidente del Comité ACI 318, Código para Edificaciones de Concreto Estructural y miembro del comité ACI 378, Torres Eólicas en Concreto, y del Comité ACI de Promoción y Difusión de Códigos y Normas. Sus intereses de investigación están relacionados con las estructuras en concreto reforzado y el diseño sismo-resistente basado en desempeño.

El REACH en el Kennedy Center

La forma y la Formación de un monumento vivo.

Por Yvonne Nelson

Como se informó en la edición de noviembre de 2020 de CI, REACH, una expansión de 72,000 pies² (6,700 m²) del Centro John F. Kennedy para las Artes Escénicas en Washington, DC, EE. UU., recibió el reconocimiento absoluto a la excelencia en la ceremonia de reconocimientos a la excelencia en construcción con concreto 2020 del ACI. Programa de premios de construcción de concreto. El REACH se compone de tres pabellones prominentes conectados por estudios, aulas y una estructura de estacionamiento debajo de un techo verde entretejido (Fig. 1). Este artículo proporciona información sobre la ejecución de algunas de las características destacadas del proyecto.

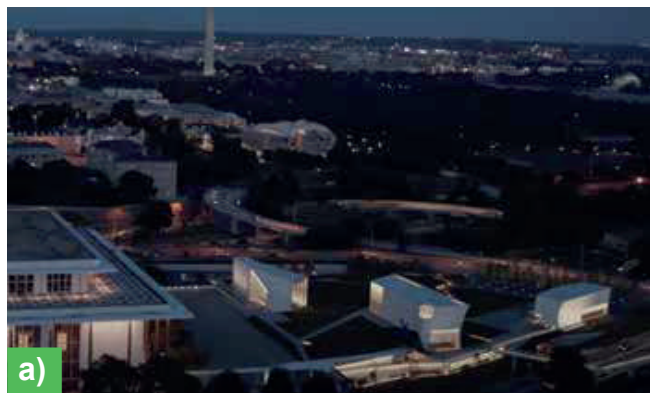


Fig. 1: Las características exteriores prominentes del REACH en el Kennedy Center incluyen tres pabellones y una pasarela cubierta: (a) una vista aérea muestra los pabellones (primer plano derecho) en relación con el edificio original del Kennedy Center (primer plano izquierdo); y (b) una representación del modelo de información de construcción de concreto (desde la izquierda: el Welcome Pavilion, el Skylight Pavilion y el River Pavilion) (imágenes cortesía de: (a) el Kennedy Center; y (b) Scott Hover, previamente gerente de BIM en Construcción de carril)

Visión General

A primera vista, los tres pabellones del REACH (Welcome, Skylight y River Pavilions) parecen ser tres estructuras independientes plantadas dentro de un paisaje en terrazas que cubre aproximadamente 5 acres (2 ha). Sin embargo, luego de una inspección más detallada, la terraza es un techo verde sobre dos niveles de pasillos interconectados, espacios de actuación, salas de práctica y una estructura de estacionamiento debajo. La cubierta vegetal está soportada por una losa pos-tensada que incorpora formadores de huecos Cobiax para minimizar la carga muerta (Fig. 2). Los formadores de huecos reducen en gran medida el concreto no estructural del centro de la losa, disminuyendo efectivamente la carga muerta y maximizando la luz total de la losa.



Fig. 2: Una losa postesada que incorpora formadores de huecos Cobiax

Durante la fase de construcción, algunos de los huecos tuvieron que ser eliminados para asegurar suficiente capacidad de anclaje para cargas de encofrado sin afectar los parámetros de diseño originales de luz y deflexión. También se revisó el postensado para asegurar su adecuación a las cargas de construcción.

En todo, el complejo REACH presenta una variedad de acabados de concreto a la vista y componentes estructurales y arquitectónicos. La base de la estructura está sostenida por una estera de 2 pies (0,6 m) de espesor sobre cajones existentes y nuevos pilotes-H, mientras que el nivel superior comprende losas macizas (tanto unidireccionales como bidireccionales), losas vacías bidireccionales y losas vacías postensadas bidireccionales. La estructura del techo verde contiene principalmente losas vacías postensadas unidireccionales a excepción de la estructura del techo sobre Studio K, que es una losa unidireccional postensada con un plafón de diente de sierra.

El Welcome Pavilion

La forma

El Welcome Pavilion ofrece una entrada principal espaciosa y un vestíbulo para visitantes para REACH. Las características destacadas incluyen paredes de concreto de 40 pies (12,2 m) de altura, con tablonces de concreto, escaleras de concreto en voladizo, un techo cónico sobre la entrada superior y un techo inferior abovedado cerca de la entrada inferior (Fig. 3). La última característica crea una región contorneada en el techo verde adyacente al vestíbulo (Fig. 4).

La formación

La losa superior del techo y las vigas del Welcome Pavilion se colocaron sobre formas elevadas sostenidas por apuntalamientos de hasta 40 pies de altura (Fig. 5). La sección cónica del techo superior creó muchos desafíos únicos de diseño y construcción porque el apuntalamiento tenía que resistir fuerzas horizontales y verticales. Además, la forma distintiva requería una membrana a prueba de humedad entre dos capas de concreto y un acabado de concreto arquitectónico (Fig. 6).

Después de muchas consultas, el equipo de construcción optó por colocar las dos capas usando una mezcla

de concreto de bajo asentamiento colocada convencionalmente y concreto lanzado sin usar un encofrado para la cara exterior de ninguna de las capas. El encofrado personalizado para la capa estructural interior se fabricó con la ayuda de un enrutador controlado numéricamente por computadora (CNC- computer numerically controlled) utilizando datos del modelo de información de construcción (BIM-building information model) tridimensional (3-D) de Lane Construction Corporation del pabellón.

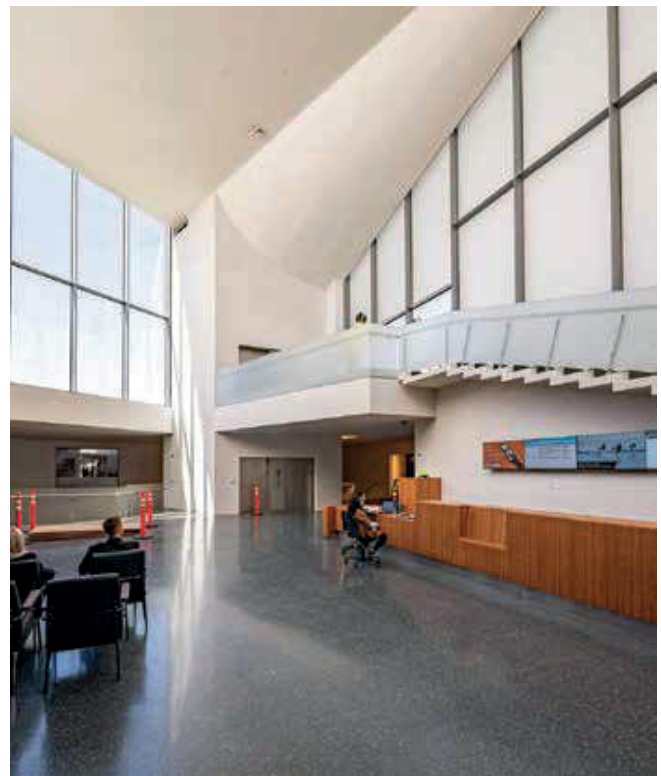


Fig.3: Una losa de techo cónica y escaleras de concreto en voladizo proporcionan características distintivas en el atrio del Welcome Pavilion



Fig.4: El techo verde cerca del Welcome Pavilion sigue los contornos de un techo abovedado en el pabellón de abajo.



Fig. 5: Apuntalamiento y encofrado en el Welcome Pavilion. En el fondo, se colocó un apuntalamiento de 40 pies (12 m) de altura para la losa elevada del techo que forma el techo del atrio superior. En el centro de la imagen, se erigió un apuntalamiento de altura variable para la viga de concreto postensado de 92 pies (28 m) de largo necesaria para soportar la losa abovedada que forma un techo más bajo en el pabellón. El contorno de la losa abovedada se formó en cajas fabricadas con un enrutador CNC. Los boxouts fueron apoyados por los miembros de la cubierta naranja en primer plano.



Fig. 6: La losa cónica comprende una capa de concreto estructural gris, una membrana de techo y una capa exterior blanca. La forma se logró utilizando tanto concreto moldeado como concreto lanzado.

Después de que se colocó la capa estructural gris interior, se instalaron conectores compuestos de fibra y se aplicó una membrana elastomérico para techos. Los conectores penetraron la membrana para finalmente conectar las dos capas de concreto. En la parte superior de la membrana, se colocó una capa exterior blanca de concreto, nuevamente usando una mezcla de asentamiento bajo y concreto lanzado. Este enfoque permitió a Lane Construction producir manualmente un acabado arquitectónico suave y seguir la curvatura del techo para formar una forma consistente.

El Skylight Pavilion

La forma

El Skylight Pavilion es el logro culminante del proyecto, con un atrio expansivo y una pared curvada asimétricamente de 145 pies (44 m) de largo, 42 pies (13 m) de alto (Fig. 7).



Fig. 7: El interior del Skylight Pavilion: (a) durante la instalación de la ventana de vidrio curvo con vista al río Potomac. El vidrio y el empotrado que forma su marco se fabricaron en Alemania para adaptarse a la

curvatura de la pared. Se requerían tolerancias muy estrictas para la instalación empotrada, por lo que las deformaciones del encofrado estaban estrictamente limitadas. Note la penetración del tragaluz adyacente a la pared curva; y (b) vista del extremo opuesto del Skylight Pavilion después de remover el encofrado y el apuntalamiento. La estructura del techo incluye vigas de transferencia para acomodar las aberturas de los tragaluzes.

Con vistas al río Potomac, la luz natural del techo ranurado y las grandes ventanas curvas en la pared orientada al sur crean un elegante espacio de reunión. En la cara norte del pabellón, una pared exterior vertical sirve como una gran pantalla de proyección al aire libre para que el público disfrute de películas y transmisiones simultáneas.

La formación

El Skylight Pavilion es una estructura muy compleja y el más grande de los tres pabellones. La pared “en forma de onda” está curvada y deformada, y cada estría es única. En la base, incluye la gran abertura para la ventana curva; y en la parte superior, está cargado y apoyado lateralmente por un techo de concreto armado que tiene ranuras para lucernarios en cada extremo (Fig. 7).

La base del muro curvo se complicó aún más porque se extiende por debajo de la elevación histórica de la inundación y requería una membrana intercalada entre dos colocaciones de concreto para evitar la inundación del espacio cerrado. La gran masa, la geometría compleja y las características clave del diseño de la pared curva proporcionaron enormes desafíos para el equipo de construcción (Fig. 8).

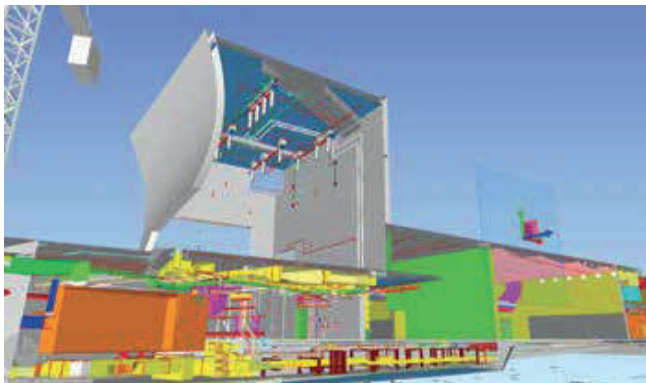


Fig. 8: Una sección a través de un modelo BIM integrado muestra el Skylight Pavilion (izquierda) y Studio K (derecha). El modelo se utilizó para la detección de conflictos con otros edificios y para la comunicación de problemas. El contratista emitió cientos de solicitudes de información (RFI) para crear el modelo BIM extremadamente detallado. Jim Feezer, entonces superintendente de Lane Construction, consideró que la coordinación entre edificios era uno de los mayores desafíos del proyecto.

Tras la adjudicación del contrato de encofrado, PERI realizó un análisis completo de un modelo tridimensional del encofrado del muro para evaluar la constructibilidad del muro curvo. Si bien el equipo de diseño había especificado que el muro se bombeaba desde el fondo y se colocara de manera monolítica, PERI estaba preocupado por las altas presiones tanto del concreto autocompactable (SCC) como de las fuerzas resultantes correspondientes en los dos sistemas de tope en cada extremo de la pared. En lugar de una colocación monolítica, PERI primero consideró una colocación de dos niveles y calculó las cargas de construcción que se transferirían a la losa vacía de la estructura permanente debajo.

El ingeniero de registro (EOR) llevó a cabo un análisis de estas reacciones de encofrado anticipadas, y esto mostró que la estructura permanente debajo no podía soportar las cargas de construcción resultantes de una colocación de dos alturas de longitud completa. Para evitar sobrecargar la estructura de soporte, PERI recomendó una colocación de tres alturas (Fig. 9).

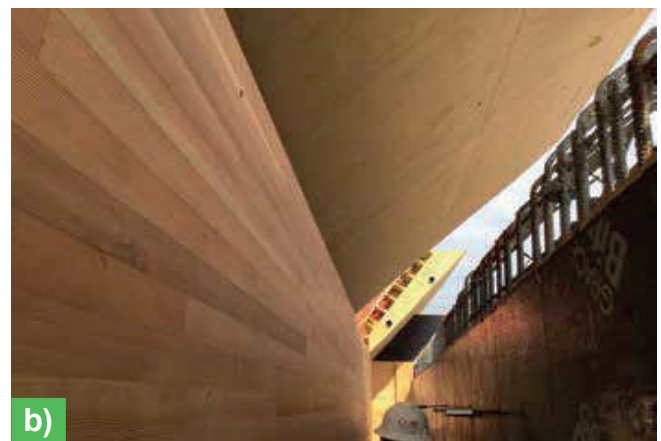




Fig. 9: La pared curva “característica” del “Skylight Pavilion” requería un sistema de encofrado extremadamente complejo: (a) las torres de encofrado iniciales sobre el sitio, adyacentes a la grúa torre (b) el acabado de la tabla machihembrada fue especialmente desafiante de crear en la superficie curva; (c) se requería un espaciado uniforme de los tirantes; y (d) la escala del muro se aclara con esta foto del equipo que conmemora la colocación final del concreto del muro.

Este aumento en el número de colocaciones afectó significativamente los costos de materiales y mano de obra. Aunque el encofrado exterior podría dejarse en su lugar para todas las ubicaciones independientemente del número, el cambio de la construcción de dos ascensores a la construcción de tres ascensores agregó aproximadamente un 50% a la cantidad de encofrados y accesorios necesarios para los conjuntos de encofrado exterior e interior.

Esta modificación tuvo el mayor impacto en la cara interior del encofrado, ya que se tuvo que desmontar cada levantamiento de encofrado interior, cimbra y arriostrar el muro antes de poder colocar el posterior levantamiento de encofrado y cimbra. El encofrado agregado creó desafíos de ingeniería adicionales. Debido a que cada estría del muro es única, cada panel de encofrado también tenía que ser único, y cada conexión y condición de arriostramiento debía diseñarse y detallarse de forma independiente.

Al principio, los diseñadores de encofrados anticiparon que el muro curvo necesitaría atarse y colocarse con retornos de muro de extremo para facilitar la formación de los mamparos en cada extremo y evitar grietas en el muro curvo. Debido a que no se podía suponer razonablemente que el muro era autoportante hasta que la losa del techo se ataba al muro curvo, era imperativo que gran parte del encofrado y apuntalamiento permanecieran en su lugar y que se proporcionaran refuerzos para la cara interior de la pared hasta que la losa del techo se colocó y ganó fuerza. Este requisito

se sumó sustancialmente a los costos de alquiler del encofrado y apuntalamiento de la cara exterior, más el encofrado, el apuntalamiento y la mano de obra para el interior. Finalmente, dejar la cara interior del encofrado y el apuntalamiento en su lugar también complicó el diseño del apuntalamiento para la losa del techo y la secuencia de toda la operación, incluidas las vigas de transferencia que bisecta el techo en la parte superior del muro y sostienen el borde de la losa en los tragaluzes (Fig.7).

A medida que se desarrolló el diseño del encofrado, PERI inicialmente asumió que los amarres del encofrado serían horizontales. Esto habría permitido que la parte posterior de cada panel de encofrado se fabricara perpendicularmente a los tirantes, reduciendo así la necesidad de detalles personalizados de los respaldos rígidos. Sin embargo, el equipo de diseño rechazó este concepto, ya que la estética deseada requería que cada atadura de encofrado fuera perpendicular a la cara del concreto terminado. Esta condición se sumó a los costos de ingeniería para el encofrado porque requería que cada refuerzo rígido se acordonara entre los tirantes en lugar de simplemente correr verticalmente a lo largo del panel. Los refuerzos articulados requerían refuerzos más intrincados para cada panel, por lo que la complejidad de los cálculos de refuerzos y los detalles asociados aumentaron significativamente.

El River Pavilion

La forma

Ubicado en el extremo sur del campus del Kennedy Center, el River Pavilions alberga una cafetería con vistas al río Potomac y un nuevo puente peatonal. La más pequeña de las tres estructuras sobre el suelo en REACH, el River Pavilions continúa los temas de las otras estructuras con una losa de techo cónica y una pared curva asimétrica con acabados en forma de tablero (Fig. 10).

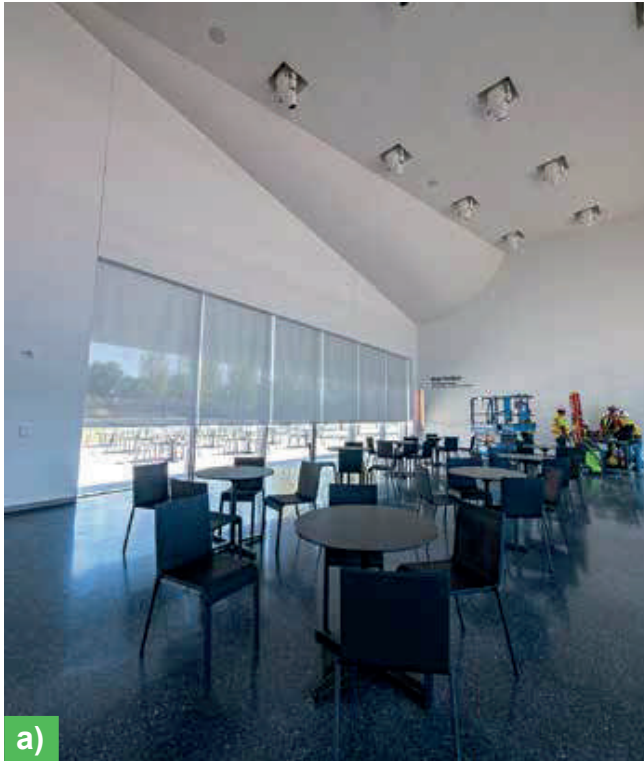


Fig. 10: Una losa de cubierta cónica es una característica destacada del River Pavilion. A diferencia de la losa cónica en el Welcome Pavilion, esta característica se colocó utilizando una sola capa de concreto blanco acabado manualmente: (a) una vista interior; y (b) una vista exterior

La formación

Al igual que con la pared curva del Skylight Pavilion, la pared curva del River Pavilion se construyó con SCC blanco y revestimiento de forma de tablero machihembrado.

Si bien este muro más corto se construyó en dos ascensores en lugar de tres, la proximidad del muro al corte para Rock Creek Parkway hizo necesario anclar el arriostramiento de encofrado solo en el lado interior (Fig. 11). Debido a que no había losa para soportar las formas exteriores, se utilizaron respaldos de canal pesados para resistir las cargas de la colocación asimétrica. Estos canales se extendían un nivel hacia abajo y estaban anclados en la pared de cimentación debajo. Aunque el River Pavilion es la más pequeña de las tres estructuras, no estuvo exento de desafíos. La coordinación de la construcción y una secuencia de encofrado “de arriba hacia abajo” fue vital para la integridad estructural del edificio. Una vez que las paredes del River Pavilion estaban en su lugar, la parte plana del techo se colocó y se ató a las paredes perimetrales, seguido de la colocación de la losa cónica del techo. Una vez que el techo estuvo en su lugar, se quitaron los apuntalamientos del techo alto y los arriostramientos de las paredes perimetrales para dar paso a una losa suspendida intermedia. Los apuntalamientos en las aberturas de las paredes permanecieron en su lugar a lo largo de esta secuencia.

Studio K y el Justice Forum

La forma

Más de 11,500 pies² (1,070 m²) de las superficies de las paredes interiores de REACH se construyeron con una textura de concreto texturizado con pliegues y ángulos aleatorios de 3 pulgadas (75 mm) de profundidad diseñados para romper las ondas sonoras y evitar la reverberación entre paredes paralelas (Fig. 12). Studio K es el espacio más grande con esta característica, seguido por el auditorio Justice Forum (Fig. 13).

La formación

Steven Holl, el arquitecto de REACH, ideó el patrón de forma único del concreto texturizado doblando láminas de metal. Posteriormente, trabajó con Fitzgerald Formliners y Form Services, Inc., para transferir las textu-

ras plisadas irregulares a revestimientos de encofrado elastomérico de 4 x 10 pies (1,2 x 3 m).

Durante el proceso de fabricación del revestimiento, se tuvo especial cuidado para asegurar que los pliegues en el patrón no inhibieran el desprendimiento del encofrado. Después de que el sistema de cuadrícula de vigas de Aluma Systems se ensambló para formar las paredes de 22 pies (7 m) de altura moldeadas en el lugar de los espacios de actuación interiores, los revestimientos de encofrado se orientaron al azar en un patrón de unión escalonado para evitar cualquier apariencia de repetición (Fig. 14). Para reducir el desperdicio del revestimiento del encofrado y permitir el pelado de los encofrados con el patrón de unión escalonada, también se fabricó un panel “dividido”. En lugar de “cortar” un panel de 4 x 10 pies, se colocaron dos paneles de 4 x 5 pies (1,2 x 1,5 m) al final de los grupos de encofrado y se “emparejaron” en la unión.

Los muros de concreto texturizado no solo son decorativos y mejoran el sonido, sino que también sirven como soportes de estructuras primarias para la parte de los edificios donde residen. El uso brillante de la textura y la luz se combinan para crear una atmósfera cálida y acogedora para este proyecto monumental. Como se señaló anteriormente, los exteriores de las paredes del auditorio de Studio K y Justice Forum se construyeron con superficies formadas por tableros. Las formas incluían inductores de grietas patentados para minimizar el impacto visual de las juntas de contracción (Fig. 15). Los muros de 22 pies de altura se colocaron en toda su altura con una mezcla de concreto gris de alto asentamiento. Los desafíos asociados con estas características se analizan en una sección siguiente centrada en los acabados y el encofrado.



Fig.11: Vista de la cimbra interior y el encofrado necesarios para construir el muro curvo del River Pavilion.



Fig.12: Studio K es una sala de usos múltiples que toma su nombre de la última inicial del difunto presidente. El espacio incluye paredes acústicas de concreto “texturizado” y un techo de concreto en forma de diente de sierra con luminarias integradas. El perfil del soffit de la losa de concreto se echó para que coincidiera con la forma del revestimiento azul. Aunque esta losa soportaba la cubierta verde y estaba postesada, no incluía formadores de huecos.



Fig. 13: El auditorio del Justice Forum también incluye muros de concreto texturizado. Los escalones, las aberturas de las puertas y las esquinas revelan desafíos creados para colocar los paneles de revestimiento y formar los mamparos, ya que se requería un patrón de unión continuo para evitar crear un patrón repetitivo discernible en el acabado texturizado. Además, muchas de las paredes tenían un revestimiento texturizado en un lado y un acabado en forma de tablero en el otro.

Desafíos

El REACH es un monumento de concreto en una ciudad de monumentos, y sus características únicas exigieron una atención especial desde la fase de planificación hasta la ejecución. Algunas de estas características se tratan en las siguientes secciones.

Color y acabado del concreto.

Se desarrollaron quince diseños de mezcla para el pro-

yecto: todo con la estabilidad necesaria para la entrega en el tráfico pesado del área de Washington, DC. Las mezclas más impactantes visualmente fueron las mezclas de concreto blanco utilizadas para formar las paredes exteriores y las secciones cónicas del techo de los pabellones (Fig. 3, 4, 6 y 10). Estas mezclas (autocompactable, convencionales y de concreto lanzado) comprendían cemento Aalborg White®, dióxido de titanio, arena blanca y agregado grueso de color claro. Para proporcionar un color uniforme, el productor tenía que establecer que se podía obtener una gran cantidad de la arena necesaria durante la larga duración del proyecto. Las mezclas autocompactable y de alto asentamiento se utilizaron en las paredes exteriores con forma de tablero, paredes texturizadas y columnas para garantizar acabados consistentes. Esto introdujo el desafío adicional de diseñar el encofrado de muros y columnas para presiones de encofrado más altas. Los documentos del contrato original exigían que los elementos verticales se construyeran bombeando concreto desde la parte inferior del encofrado. Esto se investigó en las primeras maquetas para evaluar los procedimientos, las presiones del encofrado y los resultados.

¡Maqueta, maqueta, maqueta!

El proyecto requirió un uso extensivo de maquetas en las fases de planificación y construcción. Al principio de la fase de planificación, se construyeron paneles de 0,9 x 0,9 m (3 x 3 pies) para evaluar el color del concreto y la apariencia de la superficie formada por el tablero. Se crearon varias maquetas más grandes para evaluar el acabado general a mayor escala. Usando estas maquetas, se seleccionaron tres acabados de forma de tablero diferentes para el proyecto: tableros de lengüeta y ranura de abeto Douglas, tableros de cara rasgada y un tablero de forma sin un patrón de veta vertical.

A medida que continuó la planificación previa a la construcción, la presión del encofrado también fue un foco importante. En un esfuerzo por evaluar la presión del encofrado de diseño, el diseño de la mezcla de concreto, los acabados de concreto y el método de colocación, se equiparon dos muros de maqueta de 20 pies (6 m) de altura con sensores de presión. El bombeo del

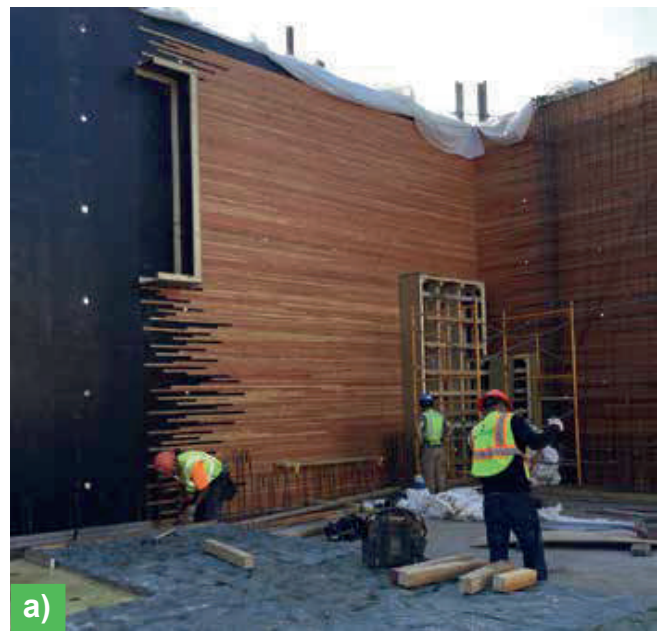


Fig. 14: Aunque se iban a pintar las paredes interiores, las superficies eran complejas y requerían mucha atención al detalle. Para mantener un patrón de orificios de unión de 5 x 4 pies (1,5 x 1,2 m) y permitir el uso eficiente de los revestimientos de encofrado de concreto texturizado, se utilizaron encofrados de montantes Aluma convencionales en lugar de encofrados modulares: (a) encofrado exterior para Studio K; y (b) encofrado interior y revestimientos de encofrado de concreto ondulado para el Justice Forum

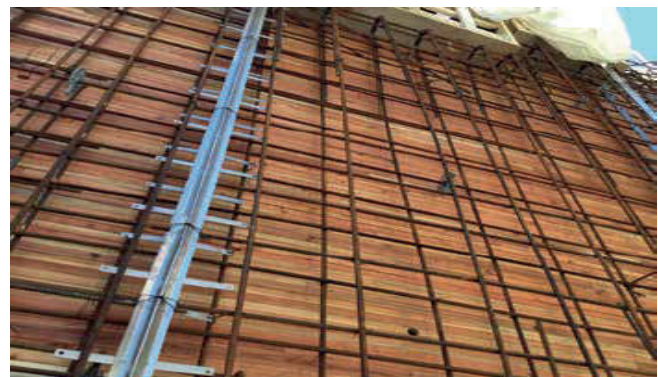


Fig. 15: Las paredes altas se fabricaron con inductores de grietas patentados para minimizar el impacto visual de las juntas de contracción.

SCC desde la parte inferior y la colocación desde la parte superior se evaluaron durante este proceso (Fig. 16). Si bien el equipo de diseño inicialmente requirió colocaciones monolíticas bombeando desde la parte inferior de los formularios, el equipo de construcción favoreció la colocación desde la parte superior del formulario. A través del programa de maquetas, se descubrió que se podían lograr los acabados deseados colocando concreto a través de una manguera de bomba utilizada como tolva de caída. La colocación superior redujo la presión del concreto de diseño para el sistema de encofrado y minimizó tanto el costo como el peso del sistema de encofrado.

En el paso final de la fase de planificación previa, se construyeron tres maquetas visuales en los terrenos del Kennedy Center (Fig. 17). Cada maqueta incluía una pared singularmente curvada con retornos en cada extremo. Las maquetas resultaron valiosas para evaluar muchas inquietudes, incluidos los medios y métodos para mamparos y colocación de concreto, juntas frías verticales y horizontales, color coincidente del concreto para diferentes ubicaciones, tipo de amarre que se utilizará (compuesto de fibra o barra roscada), orientación de los amarres, encofrado en encofrado y acabado de concreto en la cara de la superficie curva. El equipo de diseño incluso realizó pequeñas maquetas de la losa de diente de sierra para Studio K y el forro de encofrado texturizado para mitigar los problemas con el pelado y el acabado. Las lecciones aprendidas a través de estas maquetas junto con las conferencias telefónicas semanales con miembros clave del equipo de diseño y construcción contribuyeron en gran medida al éxito del proyecto

Acabados y Encofrados

Gran parte del proyecto comprende muros de concreto visto que definen la estética del REACH. Los muros exteriores se construyeron con concreto blanco auto-compactable con encofrado machihembrado en la cara exterior. El acabado de la cara interior de las paredes exteriores varía. Muchas paredes se colocaron con forma de tabla en un lado de la pared y un revestimiento “arrugado” en el otro. Estos variados acabados crearon desafíos con la secuenciación y el desmontaje del encofrado. Los muros interiores se construyeron con concreto gris que posteriormente se pintó de blanco.

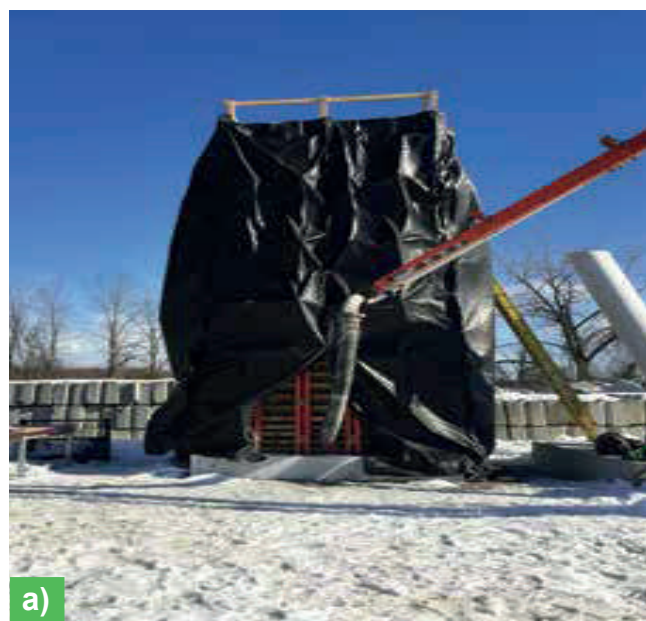


Fig. 16: Se utilizaron maquetas para evaluar los métodos de colocación: (a) bombeo en la base del encofrado; y (b) usar la manguera de la bomba de concreto como un conducto de caída

En todos los casos, los diseñadores requirieron que las tablas o el revestimiento utilizado para crear las superficies fueran cortados y colocados para evitar cualquier patrón o repetición discernible.

Además, los orificios de las ataduras tenían que colocarse en un patrón regular, alineándose tanto vertical como horizontalmente. Esto fue difícil de lograr en formas irregulares y en esquinas, ya que dieron como resultado altas cargas de reacción. Las ubicaciones de las juntas de construcción se limitaron a las esquinas



Fig.17: Se utilizaron maquetas visuales para probar conceptos de encofrado, amarres de encofrado (compuesto de acero o fibra), uniones, colocación de empotrados y parches.



de las paredes, y esto dio como resultado la necesidad de grandes cantidades de encofrado y materiales de revestimiento de encofrado, en particular tablas utilizadas para crear los acabados formados por tablas.

La longitud, la altura y la forma asimétrica de la pared curva en el Skylight Pavilion requirieron un análisis cuidadoso de sus efectos en la losa vacía debajo. La altura de colocación y la presión del encofrado afectaron las cargas de construcción, los costos de trabajo, encofrado, y el cronograma. La posición del muro curvo y asimétrico en el River Pavilion creó otro conjunto de desafíos, ya que un terraplén empinado hizo imposible apuntalar el encofrado en el lado cóncavo del muro.

El montaje de los paneles de encofrado para los muros curvos requirió una gran cantidad de espacio y mano de obra. Muchos de los componentes del encofrado de muros se fabricaron en Alemania para aprovechar una gran fresadora CNC que podía cortar láminas de madera contrachapada de gran tamaño. La máquina también pudo disponer de manera automática y eficiente las piezas en cada hoja, así como etiquetar los refuerzos cortados por CNC para cada componente de

encofrado. El etiquetado fue importante en el proceso de control de calidad del proyecto y ayudó con el programa de montaje.

Las formas de los conjuntos de paneles de maquetas se verificaron en la planta de fabricación y en el lugar de trabajo utilizando escáneres láser. Cuando se colocó el encofrado para la pared principal del Skylight Pavilion, también se realizó un escaneo láser para garantizar la geometría adecuada. Se realizó un escaneo final en el concreto fundido para verificar que el encofrado no se hubiera movido durante la colocación.

Las paredes no eran las únicas características que exigían mucha atención a los detalles. Incluso el plafón de la losa sobre el nivel de estacionamiento tenía que cumplir con estrictos requisitos de acabado. Se instalaron paneles modulares recién revestidos en un diseño que fue aprobado por el arquitecto. El resultado es un acabado elegante y uniforme en la parte inferior de la plataforma que proporciona continuidad con el meticuloso detalle demostrado a lo largo del proyecto.

Excelencia Demostrada

El REACH en el Kennedy Center sobresale en muchos niveles. En el exterior, sus formas brillantes y escultóricas crean iconos llamativos tanto de día como de noche. En el interior, sus paredes texturizadas aportan características estéticas además de función acústica. Realmente es una demostración de excelencia en la construcción de concreto.

Créditos del Proyecto

Arquitecto: Steven Holl Architects

Arquitecto asociado: BNIM Architects

Arquitecto paisajista: Edmund Hollander Landscape Architects

Ingeniero civil: Langan Engineering & Environmental Services

Ingeniero estructural: Silman

Asesor de fachada: Thornton Tomasetti

Consultor de acústica /AV/TI/ seguridad: Harvey Marshall Asociados de Berling

Jefe de proyecto de diseño: Grupo Paratus

Gerente de preconstrucción: James G. Davis Construction Corp.

Contratista general: Whiting-Turner

Contratista de concreto: The Lane Construction Corp.

Proveedores de encofrados y apuntalamientos: PERI y Aluma Systems, Inc.

¿Desea obtener más información sobre el proyecto REACH? Únase a nosotros el 30 de marzo de 2021 para el Día del Arquitecto en la próxima Convención Virtual de Concreto de ACI. Con presentaciones de miembros clave del equipo del proyecto, aprenderá más sobre varios aspectos de la arquitectura, diseño estructural, diseño de encofrado y diseño de mezcla de concreto para este complejo proyecto. ¿Quieren más? El Kennedy Center presentará el viaje a través del proceso de construcción desde las maquetas hasta la finalización y lo llevará a un recorrido virtual detrás de escena a través del producto final. No se pierda este análisis en profundidad de la excelencia en la construcción de hormigón. Regístrese hoy en www.aciconvention.org. CEU disponibles.

Proveedores de forros de encofrado: Fitzgerald Formliner y Form Servicios, Inc.

Consultor de concreto: Reg Hough Associates

Productor de concreto premezclado: Vulcan Materials Co.

Contratista de pulido: Cuiello Concrete and Terra-zzo

Pulido

Seleccionado para el interés del lector por los editores.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Noroeste de México

Título: El REACH en el Kennedy Center



Traductor: Christian Silva



Revisor Técnico: Ing. Genaro Salinas



Yvonne Nelson, miembro de ACI, ha diseñado y gestionado encofrados en la región de Washington, DC, EE. UU. Durante 14 años. Es miembro de los Comités 301 de ACI, Especificaciones para la construcción de concreto, y 347, Encofrado para concreto, así como Presidenta del Subcomité 301-B de ACI, Encofrado y accesorios de encofrado - Sección 2. Nelson fue el Gerente de ingeniería de encofrado para el subcontratista de concreto, The Lane Construction Corporation, durante la construcción del REACH.

Curado de hormigón decorativo con calentadores hidrónicos

Concreto P&R

Uno de nuestros clientes nos ha pedido que usemos un sistema de calefacción hidrónica portátil para curar una losa de pavimento con un acabado agregado estampado y expuesto. Las mangueras del sistema se colocarían sobre el concreto en un patrón de ida y vuelta, con un espacio de manguera de aproximadamente 12 pulgadas (300 mm) en el centro. Planeamos colocar las mangueras directamente sobre la losa, seguido de mantas de curado, tan pronto como sea práctico después de haber terminado de estampar. Hemos utilizado calentadores hidrónicos portátiles para curar concreto gris liso. Han funcionado bien, pero no estamos seguros de si deberíamos utilizar uno para curar el hormigón decorativo. ¿Las mangueras generan sombras sobre el concreto decorativo debido al curado diferencial?

Los contratistas que han utilizado un calentador hidrónico para curar el concreto proporcionaron los siguientes comentarios:

- Contratista A:

Estamos en las Dakotas y, a menudo, utilizamos este procedimiento: coloque láminas de polietileno de 4 mil (0,1 mm) sobre la losa antes de colocar la manguera. Esto mantendrá el curado diferencial al mínimo y minimizará los puntos calientes de las mangueras. Coloque sus mantas aislantes en la parte superior.

- Contratista B:

He intentado esto una vez, y la manguera dejó líneas en la superficie. La tasa de hidratación en la superficie era mayor en todos los lugares donde tocaba la manguera, y eso causaba sombras en la manguera.

- Contratista C: Sí, la manguera dejará sombras significativas, incluso con concreto convencional. Hemos experimentado el sombreado con paneles tilt-up.

- Contratista D: Nuestro calentador vino con instrucciones: coloque una manta aislante sobre el concreto fresco, coloque la manguera sobre la capa de manta y cubra la manguera con otra capa de manta. Esto funciona para concreto gris liso, por lo que creo que funcionaría en concreto estampado.

• Contratista E: Hemos utilizado un calentador para curar paneles basculantes (no estampados) muchas veces. Obtenemos los mejores resultados cuando colocamos una manta de curado con respaldo de fieltro sobre el concreto, salimos de la manguera, colocamos dos capas de mantas aislantes y cubrimos todo con láminas de plástico reforzado. Todavía obtenemos algo de sombra debajo de las mangueras, pero vemos menos decoloración que con las láminas de plástico aplicadas directamente a la losa. Le recomiendo que configure la temperatura de suministro del calentador a menos de 90 ° F (32 ° C) para minimizar el riesgo de curado diferencial. Luego, cruce los dedos de las manos y los pies y espere lo mejor; no hay garantías de que no habrá algo de decoloración.

En resumen, las experiencias de los contratistas varían. Algunos han utilizado con éxito calentadores hidrónicos; algunos han tenido malos resultados. También notamos que un fabricante recomienda que el fluido se caliente a aproximadamente 180 ° F (82 ° C) al descongelar suelo congelado, pero calentado a solo 120 ° F (49 ° C) al curar concreto. Este fabricante también recomienda colocar una barrera de vapor sobre el concreto, luego la manguera y luego una manta aislante.

No tenemos suficientes detalles para identificar qué variables son más importantes. Mientras modera el ajuste de temperatura en el calentador, evitar el contacto directo entre la manguera y el concreto y minimizar la pérdida de calor y humedad ayudará a proporcionar un curado más uniforme, permanecerá cierto riesgo de decoloración local.

Debido a que la apariencia del concreto decorativo es importante, el mejor enfoque sería utilizar maquetas para identificar las variables para el curado exitoso del concreto estampado.

Agradecimientos La pregunta y la respuesta se obtuvieron del Foro por correo electrónico de la Sociedad Estadounidense de Contratistas de Concreto (ASCC), que es un miembro contratista que se beneficia de ASCC.

Gracias a Bruce Suprenant, ASCC, St. Louis, MO, EE. UU., por consolidar las diversas respuestas de los participantes del Foro de correo electrónico de ASCC.

Las preguntas de esta columna fueron hechas por usuarios de documentos de ACI y han sido respondidas por el personal de ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos de ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité de ACI. Los comentarios deben enviarse a rex.donahey@concrete.org.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Ecuador Centro-Sur

*Preguntas y respuestas
Concretas*



*Traductor y Revisor Técnico: Ing
MSc DIC Santiago Velez
Guayasamin*



CONCRETO

LATINOAMÉRICA