

The REACH at the Kennedy Center

The form and forming of a living monument

by Yvonne Nelson

As reported in the November 2020 issue of *CI*, the REACH, a 72,000 ft² (6700 m²) expansion of the John F. Kennedy Center for the Performing Arts in Washington, DC, USA, received the Overall Excellence Award in the 2020 ACI Excellence in Concrete Construction Awards program. The REACH is comprised of three prominent pavilions connected by studios, classrooms, and a parking structure below an interwoven green roof (Fig. 1). This article provides insights into the execution of some of the project's outstanding features.

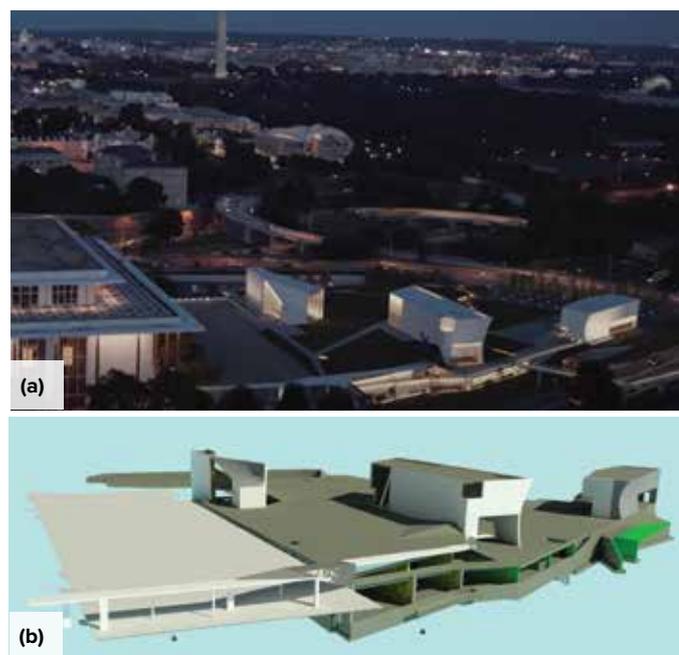


Fig. 1: Prominent exterior features of the REACH at the Kennedy Center include three pavilions and a covered walkway: (a) an aerial view shows the pavilions (right foreground) relative to the Kennedy Center's original building (left foreground); and (b) a rendering from the concrete building information model (from the left: the Welcome Pavilion, Skylight Pavilion, and River Pavilion) (images courtesy of: (a) the Kennedy Center; and (b) Scott Hover, then BIM Manager at Lane Construction)

Overview

At first glance, the three pavilions of the REACH—the Welcome, Skylight, and River Pavilions—appear to be three independent structures planted within a terraced landscape covering about 5 acres (2 ha). However, upon further inspection, the terrace is a green roof above two levels of interconnected corridors, performance spaces, practice halls, and a parking structure below.

The green roof is supported by a post-tensioned slab incorporating Cobiax void formers to minimize dead load (Fig. 2). Void formers greatly reduce the nonstructural concrete from the middle of the slab, effectively decreasing

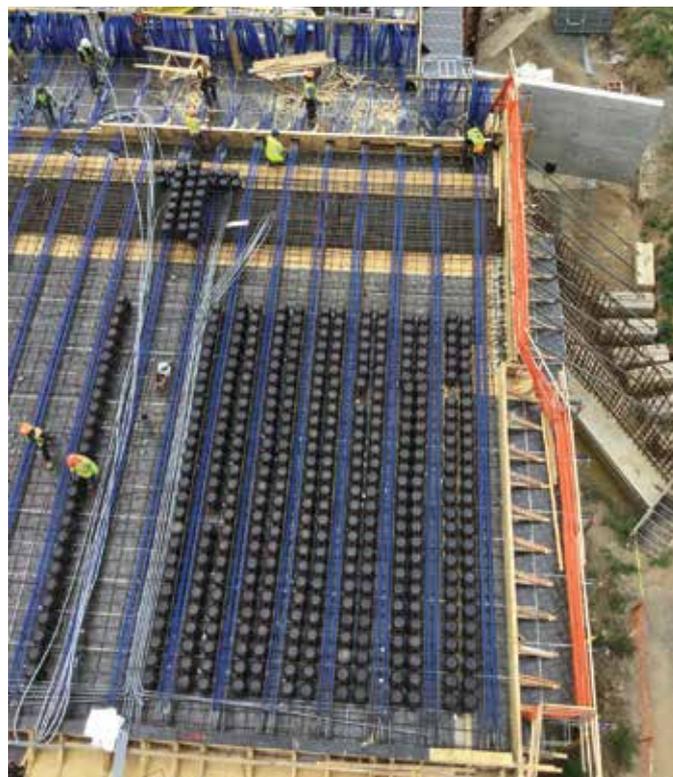


Fig. 2: A post-tensioned slab incorporating Cobiax void formers

the dead load and maximizing overall slab span. During the construction phase, some of the voids had to be eliminated to ensure enough anchorage capacity for formwork loads without impacting the original design parameters for span and deflection. The post-tensioning was also reviewed to ensure adequacy for construction loads.

Throughout, the REACH complex features a variety of exposed concrete finishes and structural and architectural components. The base of the structure is supported by a 2 ft (0.6 m) thick mat on existing caissons and new H-piles, whereas the level above comprises solid slabs (both one-way and two-way), two-way voided slabs, and two-way post-tensioned voided slabs. The green roof structure primarily contains one-way post-tensioned voided slabs except for the roof structure over Studio K, which is a post-tensioned one-way slab with a sawtooth soffit.

The Welcome Pavilion

The form

The Welcome Pavilion provides a spacious main entry and visitor lobby for the REACH. Prominent features include 40 ft (12.2 m) tall, board-formed concrete walls, cantilevered concrete stairs, a conical roof over the uppermost entryway, and a vaulted lower ceiling near the lower entryway (Fig. 3). The latter feature creates a contoured region in the green roof adjacent to the lobby (Fig. 4).



Fig. 3: A conical roof slab and cantilevered concrete stairs provide distinctive features in the atrium of the Welcome Pavilion

The forming

The upper roof slab and beams of the Welcome Pavilion were cast on elevated forms supported by shoring that was up to 40 ft tall (Fig. 5). The conical section of the upper roof created many unique design and construction challenges because the shoring had to resist both horizontal and vertical forces. Additionally, the distinctive shape required a dampproof membrane in between two layers of concrete and an architectural concrete finish (Fig. 6).

After much consultation, the construction team opted to place the two layers using both a conventionally placed low-slump concrete mixture and shotcrete without using a form for the exterior face of either layer. The custom formwork for the interior structural layer was fabricated with the aid of a computer numerically controlled (CNC) router using data from Lane Construction Corporation's three-



Fig. 4: The green roof near the Welcome Pavilion follows the contours of a vaulted ceiling in the pavilion below



Fig. 5: Shoring and formwork at the Welcome Pavilion. In the background, 40 ft (12 m) tall shoring is in place for the elevated roof slab that forms the upper atrium ceiling. In the center of the image, variable-height shoring was erected for the 92 ft (28 m) long post-tensioned concrete beam needed to support the vaulted slab that forms a lower ceiling in the pavilion. The contour of the vaulted slab was formed on boxouts fabricated using a CNC router. The boxouts were supported by the orange deck members in the foreground



Fig. 6: The conical slab comprises a gray structural concrete layer, a roofing membrane, and a white exterior layer. The form was achieved using both formed concrete and shotcrete placements.

dimensional (3-D) building information model (BIM) of the pavilion. After the interior gray structural layer was placed, fiber composite connectors were installed and an elastomeric roofing membrane was applied. The connectors penetrated the membrane to ultimately connect the two layers of concrete. On top of the membrane, an outer white layer of concrete was placed—again using both a low-slump mixture and shotcrete. This approach enabled Lane Construction to manually produce a smooth architectural finish and follow the roof’s curvature to form a consistent shape.

The Skylight Pavilion

The form

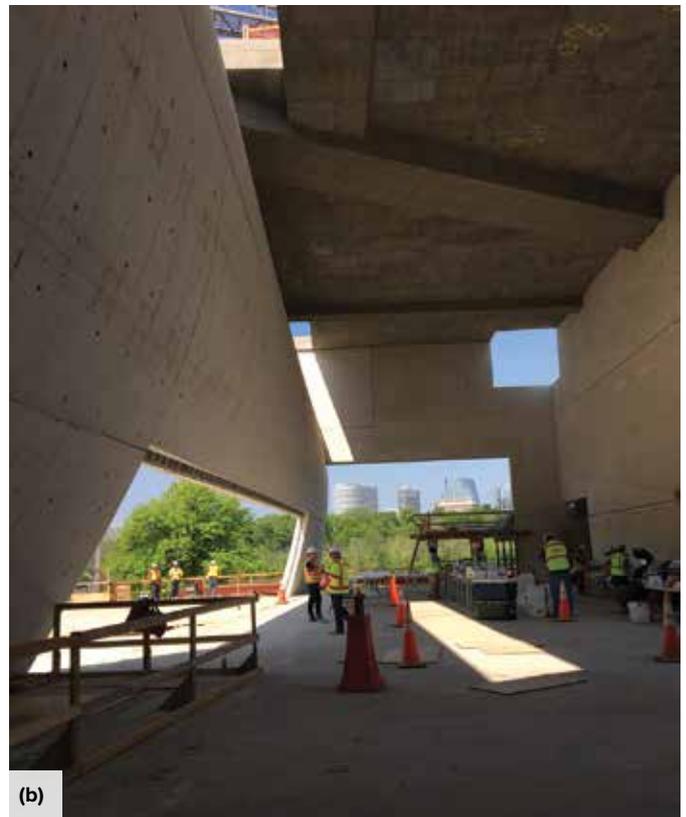
The Skylight Pavilion is the project’s crowning achievement, featuring an expansive atrium and a 145 ft (44 m) long, 42 ft (13 m) tall, asymmetrically curved wall (Fig. 7). Overlooking the Potomac River, natural light from the slotted roof and large, curved windows in the south-facing wall create an elegant gathering space. On the north face of the pavilion, a vertical exterior wall serves as a large outdoor projection screen for audiences to enjoy movies and simulcasts.

The forming

The Skylight Pavilion is a very complex structure and the largest of the three pavilions. The “wave-shaped” wall is curved and warped, with each spline being unique. At the base, it includes the large opening for the curved window; and at the top, it is loaded and laterally supported by a reinforced concrete roof that is slotted for skylights at each end (Fig. 7). The base of the curved wall was complicated even further because it extends below the historic flood elevation and required a membrane sandwiched between two placements of concrete to prevent flooding of the enclosed space. The high mass, complex geometry, and key design features of the



(a)



(b)

Fig. 7: The interior of the Skylight Pavilion: (a) during installation of the curved glass window overlooking the Potomac River. The glass and the embed forming its frame were manufactured in Germany to match the curvature of the wall. Very tight tolerances were required for the embed installation, so formwork deformations were strictly limited. Note the skylight penetration adjacent to the curved wall; and (b) view of the opposite end of the Skylight Pavilion after removal of the forming and shoring. The roof structure includes transfer beams to accommodate skylight openings

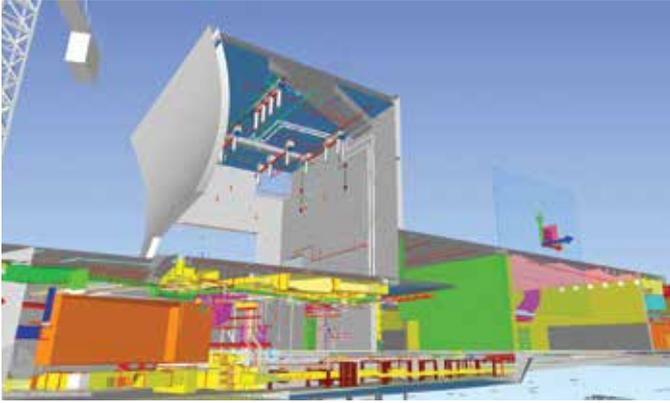


Fig. 8: A section through an integrated BIM model shows the Skylight Pavilion (left) and Studio K (right). The model was used for clash detection with other trades and for communication of issues. The contractor issued hundreds of requests for information (RFIs) in order to create the extremely detailed BIM model. Jim Feezer, then Superintendent at Lane Construction, considered coordination between trades to be one of the biggest challenges on the project

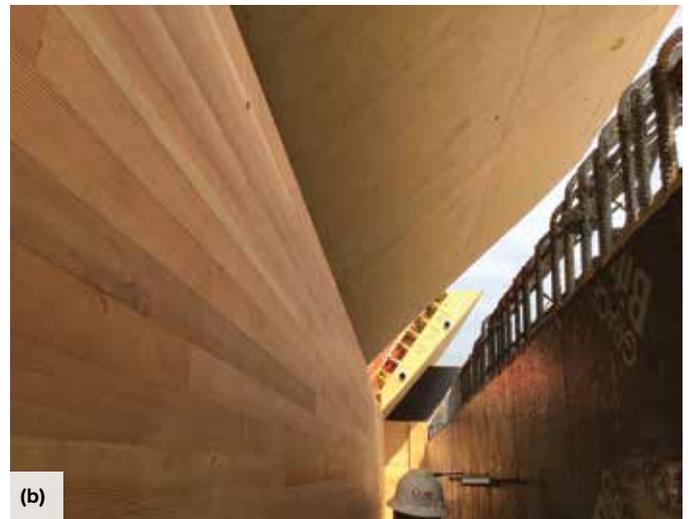
curved wall provided tremendous challenges for the construction team (Fig. 8).

After being awarded the formwork contract, PERI performed a complete analysis of a 3-D model of the wall formwork to assess the constructability of the curved wall. While the design team had specified that the wall be pumped from the bottom and placed monolithically, PERI was concerned about the high pressures from both the self-consolidating concrete (SCC) and the corresponding resultant forces in the two stop-end systems at each end of the wall. In lieu of a monolithic placement, PERI first considered a two-lift placement and calculated the construction loads to be transferred to the voided slab of the permanent structure below.

The engineer of record (EOR) conducted an analysis of these anticipated formwork reactions, and this showed that the permanent structure below could not support the construction loads resulting from a full-length, two-lift placement. To avoid overloading the supporting structure, PERI recommended a three-lift placement (Fig. 9). This increase in the number of



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 9: The curved “feature” wall of the Skylight Pavilion required an extremely complex formwork system: (a) the initial formwork towers above the site, adjacent to the tower crane; (b) the tongue-and-groove board finish was especially challenging to create on the curved surface; (c) uniform tie spacing was required; and (d) the scale of the wall is made clear by this photo of the crew commemorating the final placement of the wall concrete

placements significantly impacted the material and labor costs. Although the outside formwork could be left in place for all placements regardless of the number, the change from two-lift construction to three-lift construction added about 50% to the quantity of forms and attachments needed for both the outside and inside formwork assemblies.

This modification had the greatest impact on the inside face of the formwork, as each lift of interior forming and falsework had to be stripped and the wall braced before the subsequent lift of forming and falsework could be set. The added formwork created additional engineering challenges. Because each spline of the wall is unique, each panel of formwork also had to be unique, and each connection and bracing condition had to be designed and detailed independently.

Early on, formwork designers anticipated that the curved wall would need to be tied into and placed with end wall returns to facilitate forming the bulkheads at each end and to prevent cracking in the curved wall. Because it could not be reasonably assumed that the wall was self-supporting until the roof slab was tied into the curved wall, it was imperative that much of the formwork and shoring remain in place and that bracing be provided for the stripped inside face of the wall until the roof slab had been placed and gained strength. This requirement added substantially to the rental costs for the formwork and shoring for the outside face, plus the formwork, shoring, and labor for the inside face. Ultimately, leaving the inside face of the formwork and shoring in place also complicated the shoring design for the roof slab and sequencing for the entire operation, including transfer beams bisecting the roof at the top of the wall and supporting the slab edge at the skylights (Fig. 7).

As the formwork design was developed, PERI initially assumed that the form ties would be horizontal. This would have allowed the back of each formwork panel to be fabricated perpendicular to the ties, thus reducing the need for custom detailing of the stiffbacks. However, the design team rejected this concept, as the desired aesthetic instead required each form tie to be perpendicular to the face of the finished concrete. This condition added to the engineering costs for the formwork because it required that each stiffback was chorded between ties rather than simply running vertically for the length of the panel. The articulated stiffbacks required more intricate bracing for each panel, so the complexity of the bracing calculations and associated details increased significantly.

The River Pavilion

The form

Located at the southernmost end of the Kennedy Center campus, the River Pavilion houses a café with views of the Potomac River and a new pedestrian bridge. The smallest of the three aboveground structures in the REACH, the River Pavilion continues the themes of the other structures with a conical roof slab and an asymmetrical curved wall with board-formed finishes (Fig. 10).

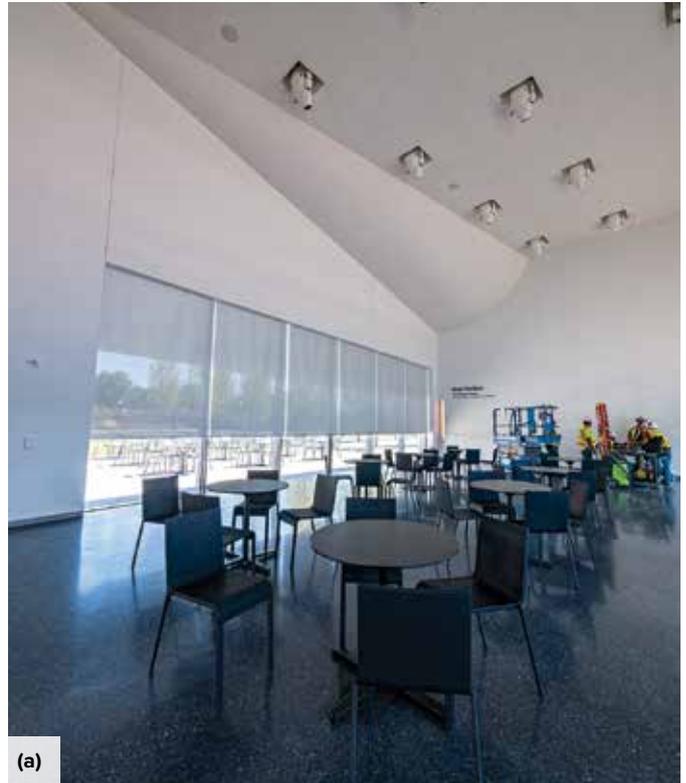


Fig. 10: A conical roof slab is a prominent feature of the River Pavilion. In contrast to the conical slab at the Welcome Pavilion, this feature was placed using a single layer of manually finished white concrete: (a) an interior view; and (b) an exterior view

The forming

As with the curved wall of the Skylight Pavilion, the curved wall of the River Pavilion was constructed with white SCC and tongue-and-groove board form lining. While this shorter wall was constructed in two lifts rather than three, the wall's proximity to the cut for the Rock Creek Parkway made it necessary to anchor the formwork bracing only on the interior side (Fig. 11). Because there was no slab to support the exterior forms, heavy channel strongbacks were used to



Fig. 11: A view of the interior shoring and formwork required to construct the curved wall of the River Pavilion

resist the loads of the asymmetrical placement. These channels extended down one level and were anchored into the foundation wall below.

Though the River Pavilion is the smallest of the three structures, it was not without its challenges. Coordination of the construction and a “top-down” formwork sequence was vital to the structural integrity of the building. Once the River Pavilion walls were in place, the flat portion of the roof was placed and tied into the perimeter walls, followed by placement of the conical roof slab. After the roof was in place, high roof shoring and bracing for the perimeter walls was stripped to make way for an intermediate hung slab. Shoring at wall openings remained in place throughout this sequence.

Studio K and the Justice Forum

The form

Over 11,500 ft² (1070 m²) of the interior wall surfaces of the REACH were constructed with a crinkle concrete texture featuring 3 in. (75 mm) deep random folds and angles designed to break up sound waves and avoid reverberation between parallel walls (Fig. 12). Studio K is the largest space with this feature, followed by the Justice Forum auditorium (Fig. 13).

The forming

Steven Holl, the REACH’s architect, came up with the crinkle concrete’s unique form pattern by bending sheets of metal. Subsequently, he worked with Fitzgerald Formliners and Form Services, Inc., to transfer the irregular pleated textures to 4 x 10 ft (1.2 x 3 m) elastomeric form liners. During the liner fabrication process, special care was taken to ensure that the folds in the pattern would not inhibit stripping of the formwork. After Aluma Systems’ beam gang system was assembled to form the 22 ft (7 m) tall cast-in-place walls of the interior performance spaces, the form liners were oriented randomly in a staggered bond pattern to avoid any appearance of repetition (Fig. 14). To reduce form liner waste



Fig. 12: Studio K is a multipurpose room that takes its name from the late president’s last initial. The space includes acoustic “crinkle” concrete walls and a sawtooth concrete ceiling with integral light fixtures. The concrete slab soffit profile was cast to match the form of the blue covering. Although this slab supported the green roof and was post-tensioned, it did not include void formers



Fig. 13: The Justice Forum auditorium also includes crinkle concrete walls. The steps, door openings, and corner reveals created challenges in laying out the liner panels and forming the bulkheads, as a running bond pattern was required to avoid creating a discernable repeating pattern in the crinkle finish. Further, many of the walls had crinkle liner on one side and board-form finish on the other

and enable stripping of the forms with the staggered bond pattern, a “split” panel was also manufactured. Instead of “cutting” a 4 x 10 ft panel, two 4 x 5 ft (1.2 x 1.5 m) panels were placed at the end of formwork gangs and “matched” at the seam.

The crinkle concrete walls are not only decorative and sound enhancing but also serve as primary structure supports for the portion of the buildings where they reside. The brilliant use of texture and light combine to create a warm and inviting atmosphere for this monumental project.

As previously noted, the exteriors of the Studio K and Justice Forum auditorium walls were constructed with



(a)



(b)

Fig. 14: Although interior walls were to be painted, the surfaces were complex and required very high attention to detail. To maintain a 5 x 4 ft (1.5 x 1.2 m) tie-hole pattern and enable efficient use of the crinkle concrete form liners, conventional Aluma stud forms were used rather than modular gang forms: (a) exterior formwork for Studio K; and (b) interior formwork and crinkle concrete form liners for the Justice Forum

board-formed surfaces. The forms included proprietary crack inducers to minimize the visual impact of contraction joints (Fig. 15). The 22 ft tall walls were placed full height with a gray, high-slump concrete mixture. The challenges associated with these features are discussed in a following section focused on finishes and formwork.

Challenges

The REACH is a concrete monument in a city of monuments, and its unique features demanded extra attention from the planning phase through execution. Some of these features are discussed in the following sections.



Fig. 15: Tall walls were fabricated with proprietary crack inducers to minimize the visual impact of contraction joints

Concrete color and finish

Fifteen mixture designs were developed for the project—all with the stability needed for delivery in the heavy traffic of the Washington, DC, area. The most visually stunning mixtures were the white concrete mixtures used to form the exterior walls and conical roof sections of the pavilions (Fig. 3, 4, 6, and 10). These mixtures (self-consolidating, conventional, and shotcrete) comprised Aalborg White® cement, titanium dioxide, white sand, and light-colored coarse aggregate.

To provide a consistent color, the producer had to establish that a large quantity of the required sand could be obtained over the long project duration. The self-consolidating and high-slump mixtures were used on the exterior board-formed walls, crinkle walls, and columns to ensure consistent finishes. This introduced the additional challenge of designing the wall and column formwork for higher formwork pressures.

The original contract documents called for vertical elements to be constructed by pumping concrete from the bottom of the form. This was investigated in early mockups to evaluate procedures, formwork pressures, and outcomes.

Mockup, mockup, mockup!

The project required extensive use of mockups in the planning and construction phases. Early in the planning phase, 3 x 3 ft (0.9 x 0.9 m) panels were constructed to evaluate the concrete color and board-formed surface appearance. Several larger mockups were created to assess the overall finish on a larger scale. Using these mockups, three different board form finishes were selected for the project: Douglas Fir tongue-and-groove boards, ripped face boards, and a board-form without a vertical grain pattern.

As the preconstruction planning continued, formwork pressure was also a major focus. In an effort to evaluate

design formwork pressure, concrete mixture design, concrete finishes, and placement method, two 20 ft (6 m) tall mockup walls were instrumented with pressure sensors. Pumping the SCC from the bottom and placement from the top were both evaluated during this process (Fig. 16). While the design team initially required monolithic placements by pumping from the bottom of forms,

the construction team favored placement from the top of the form. Through the mockup program, it was found that the desired finishes could be achieved by placing concrete through a pump hose used as a drop chute. Top placement reduced the design concrete pressure for the formwork system and minimized both the cost and the weight of the formwork system.

In the final step of the preplanning phase, three visual mockups were constructed on the grounds of the Kennedy Center (Fig. 17). Each mockup included a singularly curved wall with returns at each end. The mockups proved worthwhile in evaluating many concerns, including means and methods for bulkheads and concrete placement, vertical and horizontal cold joints, matching color of concrete for different placements, type of tie to be used (fiber composite or threadbar), orientation of the ties, form release on board form, and concrete finish on the face of the curved surface. The design team even performed small mockups of the sawtooth slab for Studio K and the crinkle form liner to mitigate issues with stripping and finish. The lessons learned through these mockups along with weekly conference calls with key members of the design and construction team greatly contributed to the success of the project.

Finishes and formwork

Much of the project comprises exposed concrete walls that define the aesthetics of the REACH. The exterior walls were constructed using self-consolidating white concrete with tongue-and-groove board form on the outside face. The finish on the inside face of the exterior walls varies. Many walls were placed with board form on one side of the wall and “crinkle” liner on the other. These varied finishes created challenges with sequencing and stripping the formwork. The interior walls were constructed using gray concrete that was subsequently painted white. In all cases, the designers required that the boards or liner used to create the surfaces were cut and placed to avoid any discernable pattern or repetition.

Further, tie holes had to be laid out in a regular pattern—aligning both vertically and horizontally. This was difficult to achieve on irregular shapes and at corners, as they resulted in high reaction loads. Construction joint locations were limited to wall corners, and this resulted in the need for large quantities of formwork and form liner materials,



Fig. 16: Mockups were used to evaluate placement methods: (a) pumping at the base of the formwork; and (b) using the concrete pump hose as a drop chute



Fig. 17: Visual mockups were used to test concepts for formwork, form ties (steel or fiber composite), jointing, embed placement, and patching

particularly boards used to create the board-formed finishes.

The length, height, and asymmetrical shape of the curved wall on the Skylight Pavilion required careful analysis of its effects on the void slab below. Placement height and formwork pressure affected construction loads, labor and formwork costs, and schedule. The position of the curved and asymmetrical wall in the River Pavilion created another set of challenges, as a steep embankment made it impossible to brace the formwork on the concave side of the wall.

Assembly of the formwork panels for the curved walls required large amounts of space and labor. Many of the components in the wall formwork were fabricated in Germany to take advantage of a large CNC router that was able to cut oversize sheets of plywood. The machine was also able to automatically and efficiently lay out the pieces on each sheet as well as label the CNC-cut gussets for each formwork component. Labeling was important in the project's quality control process and helped with the assembly schedule.

The shapes of mockup panel assemblies were verified at the fabrication plant and jobsite using laser scanners. When formwork was placed for the feature wall of the Skylight Pavilion, a laser scan was also performed to ensure proper geometry. A final scan was performed on the cast concrete to verify the formwork had not moved during placement.

The walls were not the only features that demanded close attention to detail. Even the soffit of the slab above the parking level had to meet strict finish requirements. Newly faced modular panels were installed in a layout that was approved by the architect. The result is a sleek and uniform finish on the underside of the deck that provides continuity with the meticulous detail demonstrated throughout the project.

Demonstrated Excellence

The REACH at the Kennedy Center excels at many levels. Outside, its brilliant and sculptural forms create striking icons both day and night. Inside, its textured walls provide aesthetic features as well as acoustic function. It truly is a demonstration of excellence in concrete construction.

Want to learn more about the REACH project? Join us on March 30, 2021, for Architect's Day at the upcoming ACI Virtual Concrete Convention. With presentations by key members of the project team, you will learn more about various aspects of the architecture, structural design, formwork design, and concrete mixture design for this complex project. Want more? The Kennedy Center will present the journey through the construction process from mockups to completion and take you on a behind-the-scenes virtual tour through the final product. Don't miss this in-depth look at excellence in concrete construction. Register today at www.aciconvention.org. CEUs available.

Project credits

Architect: Steven Holl Architects

Associate architect: BNIM Architects

Landscape architect: Edmund Hollander Landscape Architects

Civil engineer: Langan Engineering & Environmental Services

Structural engineer: Silman

Façade consultant: Thornton Tomasetti

Acoustic/AV/IT/security consultant: Harvey Marshall Berling Associates

Design project manager: Paratus Group

Preconstruction manager: James G. Davis Construction Corp.

General contractor: Whiting-Turner

Concrete contractor: The Lane Construction Corp.

Formwork and shoring suppliers: PERI and Aluma Systems, Inc.

Form liner suppliers: Fitzgerald Formliner and Form Services, Inc.

Concrete consultant: Reg Hough Associates

Ready mixed concrete producer: Vulcan Materials Co.

Polishing contractor: CuvIELLO Concrete and Terrazzo Polishing

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Yvonne Nelson** has designed and managed formwork in the Washington, DC, USA, region for 14 years. She is a member of ACI Committees 301, Specifications for Concrete Construction, and 347, Formwork for Concrete, as well as Chair of ACI Subcommittee 301-B, Formwork and Formwork Accessories - Section 2. Nelson was the Formwork

Engineering Manager for the concrete subcontractor, The Lane Construction Corporation, during the construction of the REACH.

Errata for ACI Publications Available Online

Under the menu for "Publications" at www.concrete.org, document errata can be searched by document number or keywords.

Call ACI Customer Service at
+1.248.848.3700 for more information.



American Concrete Institute
Always advancing

El REACH en el Kennedy Center

La forma y la Formación de un monumento viviente.

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.

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.

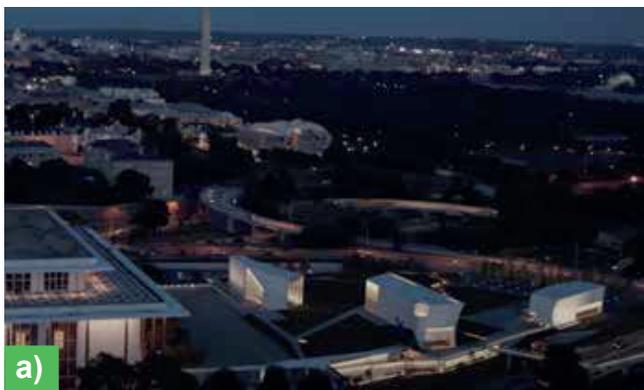


Fig. 1: Las características exteriores prominentes del REACH en el Kennedy Center incluyen tres pabellones y una pasarela cubierta: (a) una vista aérea muestra los pabellones (primer plano derecho) en relación con el edificio original del Kennedy Center (primer plano izquierdo); y (b) una representación 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)

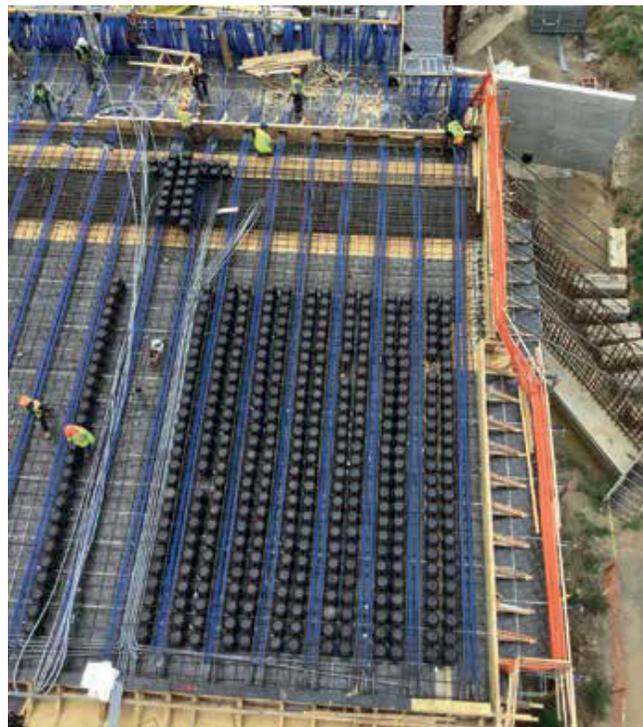


Fig. 2: Una losa postesada que incorpora formadores de huecos Cobiax

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 tableros 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.

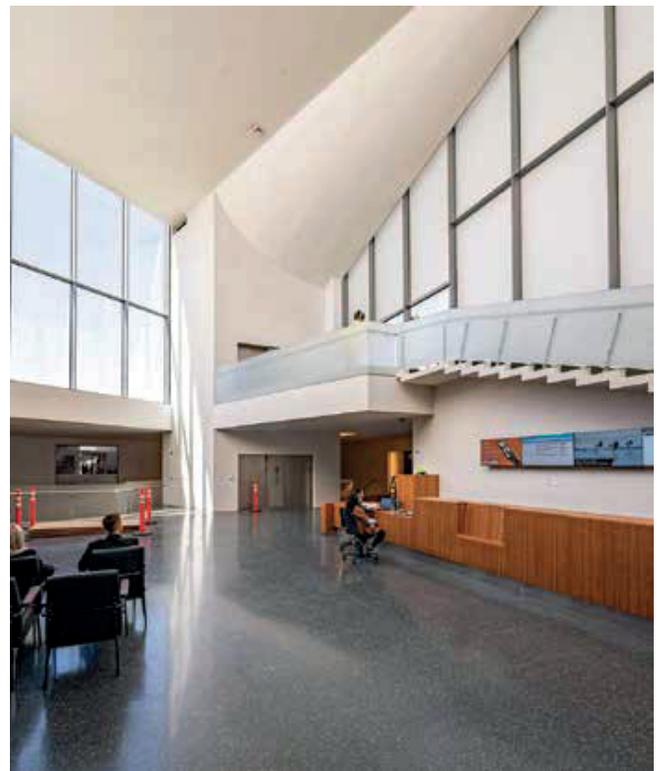


Fig.3: Una losa de techo cónica y escaleras de concreto en voladizo proporcionan características distintivas en el atrio del Welcome Pavilion



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).

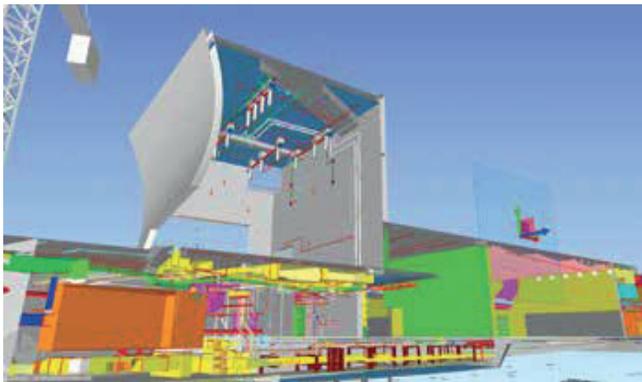


Fig. 8: Una sección a través de un modelo BIM integrado muestra el Skylight Pavilion (izquierda) y Studio K (derecha). El modelo se utilizó para la detección de conflictos con otros oficios y para la comunicación de problemas. El contratista emitió cientos de solicitudes de información (RFI) para crear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

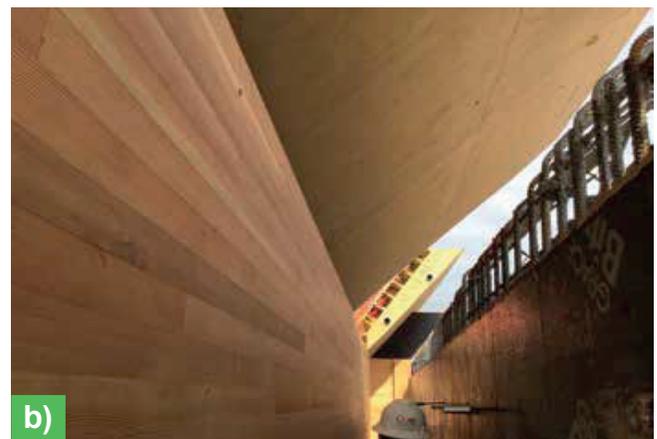




Fig. 9: La pared curva “característica” del “Skylight Pavilion” requería un sistema de encofrado extremadamente complejo: (a) las torres de encofrado iniciales sobre el sitio, adyacentes a la grúa torre (b) el acabado de la tabla machihembrada fue especialmente desafiante de crear en la superficie curva; (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 bisectan 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).

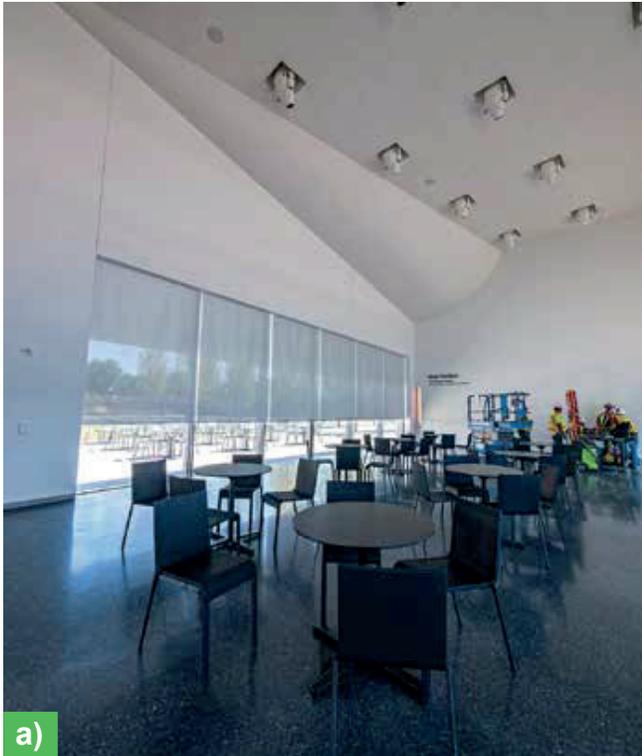


Fig. 10: Una losa de cubierta cónica es una característica destacada del River Pavilion. A diferencia de la losa cónica en el Welcome Pavilion, esta característica se colocó utilizando una sola capa de concreto blanco acabado manualmente: (a) una vista interior; y (b) una vista exterior

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 sofito 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 Arquitectos

Ingeniero civil: Langan Engineering & Environmental Servicios

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 Terrazzo 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.