

CONSTRUCCIÓN DE BÓVEDA DE CAÑÓN CORRIDO CON TIERRA ESTABILIZADA

**Irene Cecilia Ferreyra * - Lucía Elizabeth Arias - Carlos Eduardo Alderete
Rafael Francisco Mellace - Stella Maris Latina - Mirta Eufemia Sosa**
Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Tucumán
Av. Roca N° 1900 - Tucumán - Tel. 0381-4364093 - int. 7912/19
icferreyra@hotmail.com

Palabras clave: BTC – bóveda - construcción

Resumen

Desde la invención de la máquina CINVA-RAM, ampliamente difundida en el mundo, la utilización del BTC se ha limitado principalmente a la conformación de cerramientos verticales –muros. En tal sentido, son numerosos los trabajos de investigación que tienden a optimizar las mezclas que permitan obtener cualidades físicas, mecánicas y tecnológicas más apropiadas a cada requerimiento.

En el Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC) se ensayó la utilización del BTC, como componente básico del elemento constructivo techo proponiendo, en base a las propiedades resistentes del bloque comprimido de tierra estabilizada, un sistema constructivo cuyo diseño resulta compatible con el planteo estructural predefinido.

Se adoptó la bóveda de cañón corrido como forma arquitectónica dominante, tratando de ajustar su perfil a las líneas potenciales de acción externa -líneas de presiones- a fin de eliminar en lo posible, las tensiones de tracción. Para su materialización se diseñó un sistema de encofrado (cimbra deslizante) que asegura la perfecta continuidad de la bóveda en toda su extensión, reduce las operaciones y minimiza la intervención de la mano de obra en el proceso de construcción.

En el trabajo se informan las experiencias realizadas y los logros obtenidos, resaltando fortalezas y debilidades del sistema tecnológico empleado. Se detallan los fundamentos del planteo estructural y su adecuación al diseño arquitectónico (y viceversa) y se resumen las resistencias mecánicas del BTC para satisfacer el estado de solicitaciones requerido. Se informa asimismo sobre los prototipos experimentados que permitieron optar por la traza de la curva conjugando forma con estabilidad estructural; sistema constructivo utilizado y técnica de ejecución más apropiada.

Las hipótesis iniciales y la metodología de trabajo utilizada se confirmaron con los resultados obtenidos.

Introducción

Los cerramientos horizontales (techos) constituyen una parte fundamental en la definición del espacio arquitectónico. No sólo dan cobijo ante el intemperismo, sino que satisfacen requerimientos de orden psíquico, físico y mecánico.

Como parte fundamental de la volumetría del edificio, la expresión formal del techo está necesariamente vinculada al entorno físico y cultural, por lo tanto, su concepción requiere un cuidadoso estudio de los materiales y componentes básicos del elemento constructivo, la adopción de técnicas constructivas adecuadas y un riguroso seguimiento del proceso constructivo que garantice su comportamiento de acuerdo a lo previsto.

El análisis, diseño y definición un sistema constructivo para techos de tierra cruda permite plantear innovaciones tecnológicas que aporten respuestas adecuadas al contexto social, económico y cultural para la producción de un hábitat sustentable. Las bóvedas basadas en

el uso de bloques comprimidos de tierra estabilizada (BTC), mediante la aplicación de técnicas relativamente simples, posibilitan la ejecución de techos, eficientes que satisfagan aquellos requerimientos.

En el Centro Regional de Investigaciones de Tierra Cruda (CRIATiC) se utilizó para la construcción de los techos en diferentes ámbitos bóvedas de cañón corrido de BTC, salvando luces de 4,65 m. para cubrir una superficie de 300,00 m² aproximadamente.

Considerando el carácter experimental del edificio, el proceso seguido abarcó las siguientes etapas:

- Diseño Arquitectónico
- Diseño constructivo-estructural
- Producción de componentes básicos (BTC)
- Proceso constructivo.

Diseño Arquitectónico

El CRIATiC, emplazado en el complejo Herrera, forma parte de uno de los conjuntos edilicios más representativos de la Universidad Nacional de Tucumán. El entorno inmediato posee un alto valor simbólico, asociado a una expresión formal de volúmenes puros, vinculados por corredores peatonales y cubiertas de bóvedas resueltas con distintos materiales y técnicas constructivas, que le otorgan un carácter particular.

La elección de techos curvos para espacios destinados a laboratorios, talleres y aulas, buscó mantener un vínculo con los edificios existentes y fortalecer una expresión estética asociada a la institución. En función de ello, la relación luz-flecha definidas para las bóvedas respondió no sólo a requerimientos constructivo-estructurales, sino también, a la voluntad de conferir una expresión formal afín a la arquitectura circundante.



Fig. 1

Las bóvedas de cañón cubren la totalidad del espacio interior y a modo de alero continúan 1,00 m. hacia el exterior. Dado que los requerimientos en ambos casos no son los mismos, se optó por disponer los BTC de modo diferente, aprovechando su forma para mejorar el comportamiento acústico en el interior de los locales.

Diseño Constructivo - Estructural

Definición de la traza

La bóveda es una estructura de fábrica curva, constituida por elementos dispuestos y reunidos de modo que obran contrarrestándose mutuamente¹.

Para el perfil de las bóvedas se adoptó una curva parabólica, cuya traza se ajusta a las líneas potenciales de acción externa (línea de presiones) a fin de eliminar, en lo posible, las tensiones de tracción. Se basó para ello en el método de viga equivalente, buscando el trabajo de compresión, sea pura o dominante.

Por razones de expresión formal, se modificó la relación luz-flecha ideal, dentro un rango de 1/3 a 1/5.

Diseño Constructivo

Las bóvedas fueron resueltas con BTC de 14,00 cm x 29,00 cm. x 9,00 cm. y una dosificación 1:8. Estos fueron dispuestos en una hoja, con junta de mortero cementicio (1:3) de 15 mm. de espesor. Cuenta con una capa de compresión de hormigón H17 de 5 cm. de altura y una malla de acero electrosoldada de 15,00 cm. x 15,00 cm. x 4,2 mm.

Una de las características importantes de este tipo de techo es la pronunciada pendiente generada por la parábola en las zonas de apoyo, situación que exige ciertas consideraciones a la hora de establecer el grado de fluidez del hormigón de la capa de compresión. Para el caso, se dosificó el hormigón con un asentamiento máximo $S = 8,00$ cm. Las bóvedas disponen de un acabado superficial de pintura elastomérica pigmentada que actúa como aislante hidrófugo y confiere las cualidades estéticas requeridas. La película elástica acompaña los eventuales movimientos producidos por variaciones higrotérmicas, evitando posibles filtraciones y posteriores daños a la estructura.

Módulo cimbra

Para la construcción de estructuras portantes curvas (arcos y bóvedas) según la técnica adoptada en el caso, es necesario disponer una armadura provisional (cimbra) de sustento para sostener los mampuestos y el mortero interjuntas hasta que la estructura se encuentre en condiciones de transmitir las cargas actuantes.

La cimbra resulta así, un elemento fundamental en la definición del proceso constructivo por lo que en su diseño y ejecución deben considerarse además de la capacidad de soporte y estabilidad necesaria durante la ejecución de la bóveda, su facilidad de montaje y traslación en el sentido de la directriz, para obtener un regular trazado de curva y el menor tiempo posible de ejecución de obra.

Aceptado el concepto de que una bóveda se constituye por la sucesión de arcos modulares yuxtapuestos, resulta necesario establecer el ancho más adecuado de la cimbra en función de las dimensiones de mampuestos seleccionados y de su forma de incorporación al molde, buscando al mismo tiempo reducir al máximo el número de operaciones sucesivas.

Para el caso que nos ocupa se adoptó un ancho de cimbra de 0,90 m, permitiendo disponer tres hileras de bloques comprimidos con sus correspondientes juntas. El diseño del módulo de cimbra en función de las dimensiones del BTC producido en obra permitió establecer con exactitud la cantidad de operaciones de montaje, ajuste y descimbrado, en función de la longitud de la bóveda diseñada. Consecuentemente se determinó el tiempo necesario y la cantidad de operarios requeridos para dichos movimientos.

Materiales

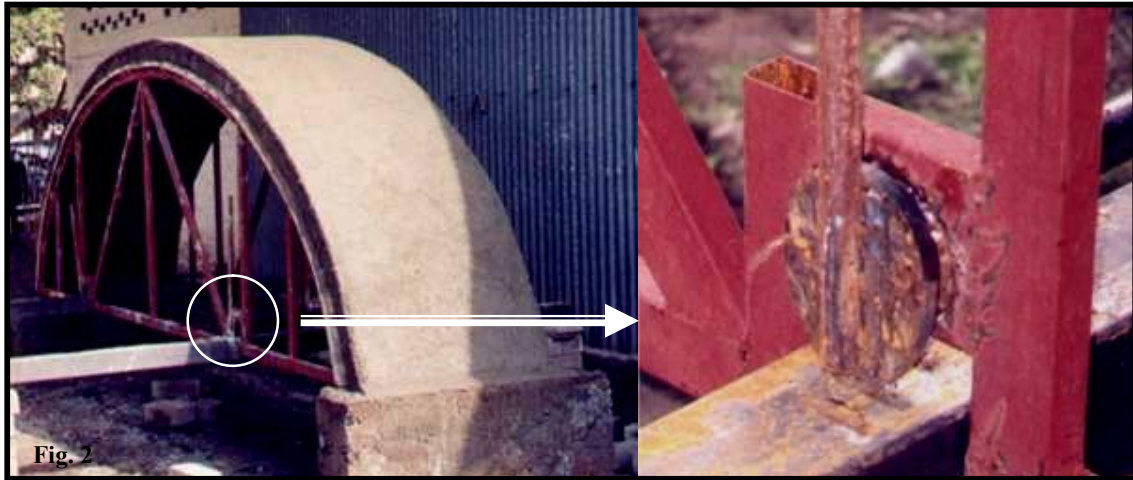
Teniendo en cuenta la repetición de operaciones de montaje y desplazamiento de la cimbra, se buscó de reducir al máximo su peso, sin afectar su capacidad portante. En función de ello se diseñó una armazón reticular con tubos estructurales de 30 x 40 x 1,6 mm.

Para la generatriz del arco se utilizó una chapa lisa de acero DD N° 18 dando lugar a una superficie convexa correspondiente al intradós de la bóveda; sobre ella adhirió una plancha de poliuretano expandido a fin de lograr un perfecto enrasado de las juntas. De esta manera se evita el rejuntado posterior de la bóveda y obteniendo la terminación deseada con una sensible reducción del tiempo de ejecución.

Montaje

Para el montaje de las cimbras se diseñó un mecanismo de doble acción que permitió sistematizar las operaciones de colocación, moldeado, descimbrado y posterior traslación a la nueva posición de avance. Consiste en un sistema de leva y palanca, vinculadas por un eje transversal, que mediante un simple giro manual permite el ajuste de la cimbra en su posición inicial, el moldeo del módulo de bóveda correspondiente y su posterior descimbrado

y desplazamiento sobre las soleras de apoyo manteniendo el nivel y la correcta disposición de la cimbra sin necesidad de verificaciones posteriores.



(Fig. 2) Detalle sistema leva y palanca

Modelos de estudio

Superada la instancia teórica de diseño y cálculo se realizaron modelos experimentales a escala natural, a fin de verificar el cumplimiento de las hipótesis preestablecidas. Se trató de una experiencia didáctico-práctica, que permitió comparar el comportamiento de diferentes perfiles de bóvedas, capacitar a operarios para su ejecución e introducir las modificaciones necesarias para mejorar el sistema propuesto.

Se construyeron tres bóvedas con los siguientes perfiles:

- Traza Circular
- Traza Elíptica
- Traza Parabólica

Los BTC se colocaron dejando entre ellos una junta de 15 mm. de espesor que se llenaron con morteros de diferente fluidez. Los poco fluidos demandaron mayor tiempo de colocación y presentaron cierta dificultad para el llenado, por lo que se optó por un mortero cementicio 1:3 de alta fluidez, al que se le agregó un aditivo acelerante de fragüe. Se registró el tiempo mínimo necesario de permanencia de la cimbra como armadura de sustento, permitiendo establecer la cantidad de horas requeridas para el alzado de la totalidad de las bóvedas.

Proceso Constructivo

Montaje: soporte y apuntalamiento

Para la colocación de la cimbra en el plano de arranque de las bóvedas, se utilizaron dos soleras (vigas) resueltas con tubos de acero de 100 mm. x 100 mm. de sección que, una vez asegurados sobre el encadenado superior de los muros portantes, sirven de soporte-corredera para la cimbra, manteniéndola a nivel constante. Atento a la longitud de las soleras (8,00 m.) se dispusieron puntales verticales como apoyos intermedios

Cimbrado

Las cimbras fueron izadas manualmente por cuatro operarios con el auxilio de de cuerdas y una polea simple.

Colocación de los BTC y llenado de juntas

Ubicada correctamente la cimbra y verificado el nivel de los arranques de la bóveda (de ser necesario se corrige la nivelación con un mortero cementicio colocado a lo largo de la viga de apoyo), se presenta el bloque central o clave, alineando su baricentro con el eje de la cimbra (flecha). Luego se coloca cada BTC desde el arranque hasta la clave, respetando las

juntas de 15 mm, espesor que se mantiene constante mediante pequeñas cuñas. En la experiencia realizada en los modelos iniciales se utilizaron separadores de distintos materiales, resultando los más eficientes los de madera. El llenado de juntas se realizó por colado con la incorporación de acelerante de fragüe en el mortero (Sikacrete).



Fig. 3 Colocación y llenado de juntas

Una vez concluida la totalidad de las hojas de BTC se colocó una malla de acero electro soldada de 15,00 cm. x 15,00 cm. x 4,2 mm. anclada mediante “pelos” insertos en las vigas laterales de hormigón armado. Sobre ella se vertió una capa de compresión de hormigón de 300 Kg/m³. Para garantizar un espesor constante se realizaron previamente, fajas de nivelación con mortero cementicio 1:4.

En función del volumen de hormigón necesario, los tiempos requeridos para la finalización de obra y el adecuado control y calidad del material, se optó por un hormigón elaborado colocado por bombeo hidráulico. La verificación de las propiedades del hormigón se realizó en dos instancias:

- Al pie de obra (Asentamiento - Cono de Abrams - Normas IRAM N° 1536)
- En laboratorio (Ensayos de resistencia en probetas cilíndricas según Normas IRAM N° 1524)

El curado del hormigón se realizó por aspersión, regulando así la pérdida de humedad del mismo para evitar posibles fisuras.

Como terminación superficial se aplicaron previa imprimación del sustrato seco y libre de polvo, tres manos de pintura, acrílica microfibrada color rojo teja. En el intradós, se aplicó pintura transparente a base de siliconas.



Fig. 4

Consideraciones finales

Teniendo en cuenta el carácter experimental con que se encaró la construcción de techos abovedados con BTC y la utilización de un sistema constructivo inusual en el medio, sumado a la participación de mano de obra no calificada (beneficiarios de planes de asistencia social), de los resultados obtenidos se puede concluir que el modelo propuesto satisface plenamente, tanto por su rapidez y simplicidad de ejecución, economía de insumos y de mano de obra, como por su calidad estética y estructural, las hipótesis planteadas. Por otra parte, la posibilidad de su inmediata transferencia ofrece excelentes condiciones para su implementación en programas de viviendas de interés social.

Notas y Citas

ⁱ C LEVI: Construcciones Civiles Tomo I, Materiales de Construcción de Edificios

Bibliografía

*ARIAS Lucía; ALDERETE Carlos; MELLACE Rafael. *Mampostería de Bloque Comprimido de Tierra – Cemento con junta de asiento*. – LEME, Serie: componentes constructivos de la envolvente, ISSN 0328/6240, pp.8 – Tucumán, Argentina 2002.

*ARIAS Lucía; ALDERETE Carlos; MELLACE Rafael. *Control de la absorción en Bloques Comprimidos de Suelo – Cemento*. LEME, Serie: componentes constructivos de la envolvente, ISSN 0328/6340 pp.8 – Tucumán, Argentina 2002.

*NADER, Khalili: *Ceramic Houses & Herat Architecture* – Cal-Earth Press – Hesperia- California.2000

*GUERRERO, Luis Fernando. *Arquitectura de Tierra*. Colección Libros CYAD-Univ. Autónoma. Azcapotzalco. México 1994

*HOUBEN Hugo; GULLAUD Hubert. *Traité de Construction en Terre*. - EAG-CRATerre – Editions Parentheses. . Marseille. 1989

*SACRISTE Eduardo; KECHICHIAN Pedro; MACKINTOSH Guillermo. *Viviendas con Bóvedas*: - Espacio Editora Buenos Aires Argentina. distribuidora.Librería Técnica CP67. 1977

*Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. *Norma IRA N°. 1536 – IRAM N°1524*

*RHYNER Kurt; MELÉNDEZ Martín; NOLASCO RUIZ Pedro; CASTRO Marcelino. *Un techo como el Arco Iris* – Ecosul – Grupo sofonías / Cidem