

## MUROS MONOLÍTICOS DE TIERRA ESTABILIZADA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CRIATiC

**Stella Maris Latina\* – Rafael Francisco Mellace – Carlos Eduardo Alderete  
Lucía Elizabeth Arias – Irene Cecilia Ferreyra – 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  
[smlatina05@hotmail.com](mailto:smlatina05@hotmail.com)

Palabras clave: tapial - tierra estabilizada - construcción

### Resumen

Son numerosas las razones por las que se recomienda la utilización de la tierra cruda en la construcción del hábitat y edificios que forman parte del equipamiento periurbano; entre las más relevantes se pueden citar las ambientales, económicas, sociales. Al muro monolítico - además de las cualidades ya nombradas- se le puede sumar:

- óptima terminación, motivo por el cual no es necesario efectuar revoques;
- reproducción de la forma del molde;
- uso de tierra de distintos tonos o colorantes que le aporta una estética particular;
- rápida ejecución del elemento constructivo que puede desmoldarse una vez terminado el apisonado.

En el Centro Regional de Investigaciones de Tierra Cruda (CRIATiC), se construye como prototipo experimental una torre de servicios (sanitarios, office, depósito de agua), con sistema de muros monolíticos de tierra estabilizada con cemento.

En este trabajo se exponen los resultados tecnológicos obtenidos, resaltando las fortalezas y debilidades del sistema constructivo considerando el material, equipamiento y mano de obra utilizada.

La torre de servicios, cuenta con una superficie cubierta de 21 m<sup>2</sup>, una altura exterior promedio de aproximadamente 6.00 m, muros exteriores de 0.30 m de espesor. De planta rectangular, se resuelve en base a cuatro módulos idénticos formados por un tramo recto y otro curvo de manera de optimizar el uso del molde.

El molde efectuado -en madera- sigue la forma del módulo adoptado con una longitud total de 3.40 m por una altura de 0.80 m. El apisonado se efectúa en forma manual con pisonos de madera. La dosificación tierra-cemento, varía en función del tipo de tierra utilizada.

Se extraen muestras de muros que son talladas para utilizarlas como probetas para efectuar ensayos de compresión, tracción y flexión. Los resultados obtenidos se consideran más que satisfactorios.

Este trabajo se engloba dentro del marco del proyecto de Investigación financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) BID 1201 – PICT 13-14 654.

### Introducción

El sistema de construcción de muros monolíticos de tierra cruda compactada, difundido en el mundo desde la antigüedad, sigue vigente por numerosas y variadas razones; de ellas se pueden sintetizar:

- Estéticas

Con una adecuada compactación, proporciona terminaciones óptimas sin necesidad de revoques o revestimientos especiales. Con tierras de distintos tonos, o con la adición de pigmentos naturales pueden obtenerse coloraciones diversas y modificaciones en su textura según la resolución de los encofrados (tapialeras) o con la inclusión de pequeñas piedras en

su masa para variar su aspecto exterior.

- Ambientales

Dado el retardo térmico característico del material usado, actúa como eficaz regulador de las temperaturas exterior-interior al acumular el calor exterior y cederlo luego produciendo un ambiente interior confortable. Resulta particularmente adecuado en climas con marcada amplitud térmica.

- Económicas

La materia prima fundamental, al no requerir procesos de transformación, resulta de muy bajo costo (o costo cero), salvo el necesario para su transporte cuando no se encuentra disponible al pie de obra. El equipamiento necesario para su construcción (tapialeras y pizones) es simple y su reducido costo se amortiza rápidamente con su constante reutilización. El sistema requiere por lo tanto una mínima inversión inicial.

- Sociales

Por su economía y la simplicidad de ejecución con mano de obra no calificada, resulta fácilmente apropiable para amplios sectores de la comunidad, apto para la autoconstrucción y de eficaz aplicación en programas de construcción de viviendas de interés social.

### **Prototipo Experimental: Modulo De Servicios**

En el conjunto edilicio sede del CRIATiC, se diseña y construye con carácter experimental un módulo de servicio con muros monolíticos de tierra estabilizada, con la finalidad de verificar en obra el comportamiento del material (diversas mezclas de suelo-cemento) y del elemento constructivo (muro), como así también el equipo y procedimientos constructivos ensayados previamente en modelos reducidos de laboratorio y campo.

#### *Diseño Arquitectónico*

El módulo de servicios se resuelve en una torre con una superficie aproximada de 21,00 m<sup>2</sup> y altura variable, con un promedio de 6,30 m. Compuesta por dos sanitarios y un office en planta baja, cuenta con un entrepiso técnico en el que se instalan los depósitos de agua en la parte superior. (Fig. 1)

Con su ubicación en el conjunto, aprovechando las características físicas propias del sistema constructivo (masividad, color, textura), tanto como el volumen (forma y proporciones) de la construcción se buscó, desde el punto de vista arquitectónico, destacarla con un sentido simbólico del CRIATiC.

De planta rectangular con esquinas redondeadas, sus dimensiones (5,10 m de longitud por 3,85 m de ancho) se ajustan a la modulación general adoptada para el conjunto.



(Fig.1) Vista general de torre de servicios

#### *Diseño Estructural*

El planteo estructural parte de considerar al edificio como un tubo rígido de paredes portantes. Los muros monolíticos se anclan a los cimientos corridos y encadenados horizontales inferior y superior, por una armadura vertical incluida en la masa del tapial y conformada por barras de acero de 10 mm de diámetro, dispuestas cada 0,60 m.

El entrepiso técnico ubicado a 2,50 m sobre el encadenado horizontal inferior, sustenta a los depósitos de agua y actúa simultáneamente como una placa rígida transversal que vincula los muros perimetrales a mitad de su altura total. A nivel del coronamiento, el encadenado superior se comporta como una “viga collar” en la que se insertan las correas metálicas del techo liviano.

En correspondencia con los tramos modulados en planta, las juntas verticales de construcción se comportan como una articulación que absorbe eventuales cambios volumétricos por retracción de fragüe y funcionan como disipadores de energía en caso de acciones sísmicas. Al diseñar los muros continuos con esquinas redondeadas se pretendió, más allá de una expresión formal de la torre, reforzar las condiciones de resistencia sísmica del conjunto.

#### *Diseño Constructivo*

Sobre un cimiento corrido de hormigón ciclópeo ( $250 \text{ Kg /m}^3$ ) se sitúa el encadenado inferior sobre el que se inicia la construcción de las tapias de tierra estabilizada, de 0,30 m en todo su desarrollo. Las barras de la armadura perimetral se fijan en los cimientos y continúan ininterrumpidamente hasta el encadenado superior del coronamiento.

El entrepiso, construido por una losa alivianada de viguetas de hormigón pretensado y bovedillas cerámicas, malla de acero electro soldada y capa de compresión (hormigón de  $300 \text{ Kg/m}^3$ ), apoya en el encadenado horizontal que vincula a los muros a los 2,50 m de altura.

La ejecución del tapial de tierra estabilizada con cemento Pórtland normal en proporciones variables conforme al nivel relativo del muro y al tipo de tierra usada, se organiza en cuatro módulos iguales empleando dos moldes (3,40 m de longitud total) de madera contrachapada, de un tramo curvo (0,60 m) y otro recto (2,90 m) (Fig.2). La vinculación entre los módulos yuxtapuestos se logra con un encastre macho-hembra para asegurar la continuidad constructiva estructural del muro, permitiendo a la vez su libre juego durante el período de secado y fragüe. (Fig. 3)



(Fig. 2) Ensamblado de moldes



(Fig. 3) Junta constructiva vertical

Los paramentos interiores se revisten conforme a su función, con cerámicos esmaltados en sanitarios y office. En el exterior se deja el tapial a la vista y en algunos sectores (enmarcado de aberturas) se aplica revoque de mortero aéreo reforzado (MAR) para unificar formalmente los frentes de todo el conjunto.

En la planta baja la carpintería de ventanas se resuelve con marcos premoldeados de hormigón armado -desarrollados en el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad

Regional Santa Fe- y hojas de abrir, metálicas. En las puertas, como en todo el conjunto, se utiliza un cajón de chapa de acero DD N° 18 y hojas de madera placada.

En la planta superior se cierran los vanos con paneles prefabricados en obra de 0,56 m x 0,98 m, utilizando bloques huecos prensados de suelo-cemento (Sistema Permaq) para permitir el paso de luz hacia el interior y dar vista al muro desde el exterior.

#### *Material empleado: diseño de mezclas*

La tierra proveniente de distintos lugares de la ciudad, provista en parte por la Dirección Provincial de Vialidad y por empresas privadas, se identifican y clasifican con métodos normalizados en el laboratorio. Con pequeñas variantes en su constitución, corresponden en general al tipo **CL** -limos inorgánicos de escasa a media plasticidad- según Carta de Plasticidad de Suelos (Norma IRAM N° 10509/1982).

La estabilización se efectúa con cemento Pórtland normal CP-40 marca Loma Negra en proporciones variables según los resultados obtenidos en los ensayos con mezclas de prueba; las dosificaciones fluctúan entre 1:8 a 1:10 / 1:11 para obtener los valores de resistencia previstos en el cálculo estructural. A tal fin se verifican constantemente las características de las tierras, al igual que las condiciones óptimas de humedad para obtener en cada caso, la máxima compacidad de las mezclas (ensayos Próctor).

#### *Equipo y herramientas: diseño del molde (tapialera)*

El molde, resuelto con dos tableros de madera, sigue la forma del módulo básico adoptado para el tapial, con una longitud total de 3,40 m y una altura de 0,80 m; el tramo recto mide 2,90 m y el curvo 0,60 m.

Los tableros laterales -tramos rectos- se realizaron con madera contrachapada (tablero fenólico hidrorresistente) de 20 mm. de espesor y parantes verticales de madera maciza encargados de la rigidización del molde, ubicados cada 0,90 m. En los tramos curvos resueltos con tablas verticales de pino Elliotti de 500 mm (2") de ancho x 250 mm (1") de espesor, los refuerzos se colocaron cada 0,30 m. Los travesaños separadores se ejecutaron con varillas roscadas de acero de 13 mm (1/2") de diámetro y un buje-camisa de 3/4", ajustados por los extremos con arandelas y tuercas mariposa. Las tapas frontales de los módulos de 0,30 m de ancho, se diseñaron para reproducir en el muro una unión machihembrada vertical para facilitar la vinculación entre tramos.

#### *Herramientas*

Las herramientas requeridas para la compactación manual del tapial son mínimas: martillo de armador, tenazas, palas y pisones. Estos últimos, de base plana-ancha (20 cm x 30 cm) y base plana-angosta (10 cm x 20 cm) de madera de algarrobo con un mango cilíndrico de 1,50 m de longitud y un peso de 4,00 y 2,50 kg respectivamente, proveen la energía necesaria para una adecuada compactación, con un reducido trabajo físico del operario.

#### *Mano de Obra*

La mano de obra empleada en toda la construcción del CRIATiC proveniente de planes asistenciales instrumentados por el gobierno municipal (Jefas y Jefes de Hogar), sin preparación previa, debió ser capacitada en talleres que se desarrollaron, en una primera etapa, paralelamente a la ejecución de los trabajos. Por lo tanto, las operaciones de manejo de herramientas, preparación del material, armado y desarmado de los moldes, vertido y apisonado de las mezclas de suelo-cemento y demás pasos del proceso constructivo, exigieron al comienzo mayor dedicación y tiempos de ejecución.

#### *Proceso Constructivo*

Para la fijación del molde en la hilada inicial se utilizó el perfil del encadenado inferior de hormigón armado que reproducía exactamente en planta la forma de la torre. Contrariamente a lo usual, se decidió avanzar con la construcción de cada módulo de tapial en sentido vertical hasta alcanzar la altura del entrepiso (2,50 m), de forma tal que las juntas de construcción se mantuvieron alineadas verticalmente.

El llenado y apisonado de los aproximadamente 2,50 m<sup>3</sup> de mezcla de cada módulo (3,40 m x 0,80 m), equivalente a 5,00 m<sup>3</sup> de mezcla esponjada, demandó el trabajo de cuatro operarios durante 4,00 horas, a las que debió sumarse una hora más para el armado, nivelación, aplomado y posterior desarmado del encofrado (trabajando a nivel de terreno). Al avanzar en altura, se sumaron dos operarios más para la elevación y reubicación del molde en las hiladas sucesivas. En promedio se emplearon seis personas para realizar todas las operaciones (preparación de la mezcla, transporte, vertido y compactación). (Fig. 4)



(Fig.4) Ubicación de moldes altura entrepiso

Dado que la ejecución del muro se hace más pesada y lenta a medida que se avanza en altura, el rendimiento de la mano de obra se redujo notoriamente; no sólo por el tiempo que demandó elevar y colocar el molde en su lugar, sino también porque el apisonado a 4,00 m ó 5,00 m de altura requirió el armado de andamios y equipos auxiliares.

En síntesis, el proceso constructivo se estructuró según los siguientes pasos:

- a. Ejecución de cimientos y sobrecimientos (encadenado inferior de hormigón armado) de forma tradicional.
- b. Colocación del encofrado verificando la correcta nivelación y aplomado de los tableros laterales y su fijación con los travesaños -separadores metálicos- que impiden eventuales desplazamientos, asegurando un espesor constante del muro.
- c. Preparación de la mezcla de suelo-cemento; mezclado en seco, humectación por aspersión y re-mezclado manual.
- d. Vertido dentro del encofrado de la mezcla húmeda de suelo-cemento en capas de aproximadamente 20 cm de altura.
- e. Apisonado manual con pisones de madera hasta comprobar su rebote en la mezcla compacta. Se usaron dos pisones de base plana y distintas secciones para la zona central y laterales del muro y un pisón plano y angosto para la zona cercana a la tapa y a la armadura perimetral del muro. Se experimentó también con pisones metálicos, pero fueron desechados por resultar excesivamente pesados.
- f. Concluido el llenado y apisonado del molde, se rayó la superficie con un elemento punzante para mejorar la adherencia entre con la hilada sucesiva.
- g. Desencofrado, limpieza y desplazamiento del molde; repetición del proceso. Antes de reiniciar el llenado de la hilada superior se aplicó una lechada cementicia, como puente de adherencia, al igual que entre las tongadas de una misma hilada.
- h. Curado: se tuvo cuidado de tapar la construcción con un film de polietileno negro de 200 micra, a fin de evitar la rápida evaporación del agua de amasado, asegurando la correcta hidratación de las partículas de cemento; en días de calor excesivo, se regó periódicamente por aspersión el elemento construido.

Durante la ejecución de la obra se presentaron algunos inconvenientes que exigieron una revisión de los equipos y procesos propuestos inicialmente. Algunas debilidades observadas en esta etapa fueron:

1. El molde de madera, contrariamente a lo previsto, resultó de excesivo peso dificultando las operaciones de izado, montado y desmontado cuando se trabajó en altura.
2. La madera de pino Elliotti, aunque de fácil trabajabilidad para la construcción del molde, resultó inadecuada por las deformaciones permanentes que adoptó a raíz de la humedad transmitida por la mezcla de tierra-cemento y las presiones laterales derivadas de la fuerza de compactación. Ello produjo algunas imperfecciones en la superficie del tapial que dificultaron las operaciones de desmolde y obligaron a posteriores trabajos de “curado”; motivo por el que los moldes debieron ser rectificadas y reforzadas las zonas curvas antes de efectuar la tercera hilada de tapial, situada aproximadamente a 1,60 m de altura.
3. La sección de las varillas roscadas (travesaños-separadores) utilizadas para fijar la separación de los tableros resultó insuficiente para soportar el peso del molde y la energía de compactación de las primeras hiladas, complicando su recuperación por la deformación producida. Se solucionó el problema cambiando el buje metálico por tubos de polipropileno que se dejaron perdidos en la masa del muro.
4. Fue necesario rediseñar formas y dimensiones de los pisones originales para favorecer su acceso en las zonas extremas del molde.

### **Monitoreo Y Evaluación Del Prototipo**

#### *Observación en obra*

Durante todo el proceso constructivo se observó en obra el comportamiento de los diferentes módulos de tapial; se controlaron aspectos relacionados con el fraguado, retracción, fisuraciones o agrietamientos en los paramentos interiores y exteriores; desarrollo de resistencia mecánica, etc. Se efectuaron para ello, mediciones periódicas del espesor de las juntas de construcción (inicialmente se midió la temperatura de la masa al momento del desencofrado); pruebas de rayado superficial y penetración con punta metálica y pruebas de impacto con esclerómetro. En general, no se verificaron patologías ni vicio constructivos.

#### *Ensayos de laboratorio*

Para verificar las propiedades físico-mecánicas del tapial conforme a las previsiones del proyecto y cálculo estructural, se tomaron muestras para ensayar en laboratorio. Para ello se tallaron probetas de aproximadamente 100 mm x 100 mm x 200 mm determinándose valores de resistencia a rotura por flexión y compresión. Los resultados obtenidos arrojan los siguientes valores:

Resistencia a compresión	Resistencia a flexión	Resistencia a corte
9.03 MPa	1.51MPa	1.06 MPa

(Tab.1) Valores promedios\*

\* Valores promedios obtenidos sobre 5 mediciones consecutivas

### **Conclusiones**

En general, analizada la experiencia realizada tanto en la construcción de la torre de servicios, como en los muros cabeceros del módulo-aulas del CRIATiC, se verifican plenamente las hipótesis enunciadas al inicio, relativas a su valor estético, ambiental, económico; su facilidad de ejecución con mano de obra no calificada y la posibilidad de transferencia y apropiación en el ámbito regional. En efecto, de los resultados obtenidos se concluye que el sistema de muros monolíticos de suelo-cemento con técnica de apisonado manual, relativamente poco difundido en el medio local en relación a los sistemas de

mampostería, es eficiente y de fácil transferencia para su aplicación en edificios del hábitat social.

En particular, se evalúa positivamente el comportamiento constructivo registrado al presente, tanto como las enseñanzas que la producción del prototipo deja para encarar futuras líneas de investigación que tiendan a desarrollar con un mayor grado de tecnificación la producción de moldes más versátiles, livianos y resistentes para permitir un proceso constructivo más dinámico, de mayor facilidad y continuidad de las distintas fases operativas que lo integran.

### **Bibliografía**

\*LATINA, Stella Maris; MELLACE, Rafael F. "Sistema Monolítico de Suelo-cemento para Viviendas de Interés Social. Prototipo Arquitectónico y Tecnológico". En: *IV Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra*. Portugal. 2005

\*MELLACE, Rafael F. *Refugios Modulares de Tapial Estabilizado – Colalao del Valle, Tucumán*. Publicaciones LEME: Arquitectura de Tierra Cruda ISSN 1514-1764- Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNT. 2001

\*CÁRDENAS GUILLÉN, Juan Martín. *Construcción con tierra estabilizada*. Comunicaciones Académicas del Hábitat – Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 1995

\*MINKE, Gernot. *Manual de Construcción en Tierra. La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Nordan-Comunidad. Uruguay. 1994.

\*HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. *Traite de Construction en Terre – CRATerre-EAG*. Francia. 1989

\*Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. *Norma IRAM N° 10509/1982*