

ARTÍCULO

CONSTRUIR CON TAPIAL: PISCINA EN TORO

**Enrique Antelo Tudela, Santiago Sánchez Iglesias,
Cristóbal Crespo González y Antonio Raya de Blas**

Building with earth rammed: pool in Toro

Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea
Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña
eISSN 2173-6723
www.boletinacademico.com
Número 2 (2012)
Páginas 27-35

Fecha de recepción 31.10.2011
Fecha de aceptación 03.02.2012

Resumen

Este artículo transmite la experiencia arquitectónica obtenida en la construcción con tapial de grandes muros de cerramiento para una piscina en Toro (Zamora). Partiendo de los aspectos compositivos y espaciales se llega a los técnicos, describiendo las soluciones utilizadas, tales como el postensado del tapial. Se prosigue con la descripción de las incidencias y se propone una serie de medidas a considerar en nuevas construcciones de características similares.

Abstract

This article tries to convey the architectural experience gained through the construction of the rammed earth walls of the new Municipal Indoor swimming pool in Toro (Zamora – Spain). From compositional and spatial matters to technical questions, the text describes the solutions used in the construction of the pool enclosure, such as the post-tensioned walls. It continues with a description of the problems found to finally, proposes a number of actions to consider in similar constructions.

Palabras clave

Tapial, piscina, postensado, armado, arquitectura.

Keywords

Rammed earth, swimming-pool, post-tensioned, reinforced, architecture.



1 (Izda.) Vista exterior de la piscina cubierta.

2 (Dcha.) Interior del recinto del vaso de piscina, donde se puede apreciar la entrada rasante y la incidencia de la luz cenital de los lucernarios sobre los muros de tapial. El falso techo se construye con un tablero de madera contrachapada perforada para optimizar la absorción acústica. La playa de la piscina se resuelve con tarima sobreelevada de madera reconstruida, de junta abierta.

1. INTRODUCCIÓN

La perspectiva de la construcción en tapial en los últimos años ha mejorado, pese al inicial rechazo social, la falta de normalización técnica y los costes elevados¹.

Entendemos que la aparición de nuevos referentes arquitectónicos en tierra que puedan, mediante el uso, vencer la oposición social y atraer, por sus valores arquitectónicos y ecológicos, a arquitectos y promotores (públicos y privados), permitirá desarrollar una técnica constructiva acorde con los medios y controles actuales.

Con estos planteamientos se han construido nuevos edificios tanto en Alemania y Austria como en Estados Unidos que han impactado al mundo de la arquitectura², y que, unidos a los trabajos de Gernot Minke y a la preocupación social por la ecología, pueden permitir avanzar en la aplicación actual de esta técnica constructiva³. En España encontramos bibliografía sobre la arquitectura de tierra y de las técnicas tradicionales, pero son pocas las obras que aventuran una propuesta para nuevas construcciones⁴.

Desde este posicionamiento planteamos nuestro trabajo, atraídos por los aspectos arquitectónico-formales del tapial y preocupados por nuevos aspectos técnicos que no pertenecen a la práctica constructiva habitual. Este artículo expone nuestra experiencia, aunando objetivos formales y compositivos con la técnica requerida, afectada por los procesos constructivos, pero siempre obtenida desde la óptica arquitectónica.

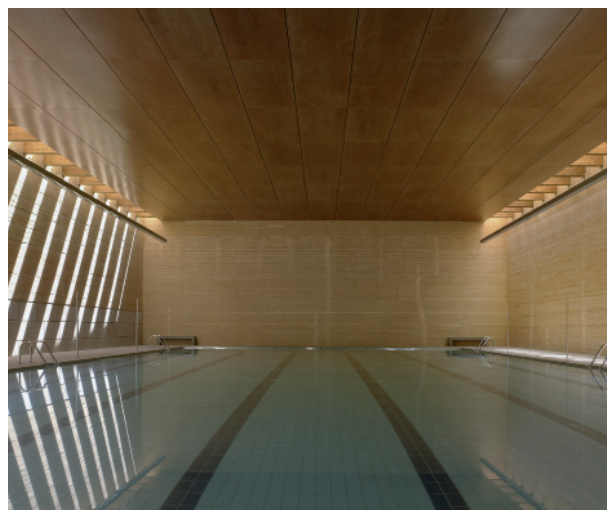
La fascinación por el paisaje y los modos tradicionales de la construcción en Castilla y León están en el origen conceptual de la propuesta presentada a un concurso público de anteproyectos con intervención de jurado, convocado en el 2004 por el Ayuntamiento de Toro, en el que el estudio VIER ARQUITECTOS obtuvo el primer premio. La propuesta busca incorporar al núcleo histórico una nueva pieza que, asumiendo la responsabilidad de la imagen que debe transmitir, derivada de sus condiciones de volumen y representatividad en función de su carácter público, sea capaz de integrarse acertadamente en el extraordinario patrimonio arquitectónico de la ciudad. De esta manera, se proyecta un edificio austero, que sin renunciar al lenguaje de la arquitectura contemporánea, sabe enlazar de una manera natural con la tradición constructiva presente en el contexto urbano de Toro.

Conceptualmente, la piscina se configura en una envolvente de tapial de 60 centímetros de espesor que caracteriza el aspecto exterior y el espacio interior (Fig. 01-02). El edificio se defiende de la climatología y de las vistas no deseadas mediante este muro perimetral que va delimitando la parcela, plegándose sobre la zona de acceso. Sobre el muro, emergen las cubiertas de los volúmenes de vestuarios y deja entrever la vegetación de los patios interiores.

El carácter cerrado y severo que presenta el edificio al exterior contrasta con la imagen que aparece en cuanto se traspasa el umbral (Fig. 03). Las diferentes zonas en que se divide el programa cuentan con iluminación y ventilación directa a través de una serie de patios in-



3 Aspecto interior del espacio de acceso, con la luz entrando a través de los huecos del tapial construidos con amazón metálico.



4 Interior del recinto del vaso de piscina, con los muros perimetrales de tapial y el falso techo perforado que oculta las vigas de madera laminada. La impulsión de aire está distribuida linealmente por la parte inferior del tapial. La cavidad del falso techo se encuentra en sobrepresión.

teriores que permiten el control visual de los recintos, haciéndolos transparentes u opacos según convenga; además, facilitan el apoyo pasivo. El recinto mayor, que contiene el vaso de piscina, ha de contar con un estricto control de sus condiciones higrotérmicas, por lo que el intercambio con otras zonas se reduce al mínimo y se trata —a estos efectos— como un volumen autónomo con respecto al resto del complejo (Fig. 04).

2. EL DISEÑO DE LOS MUROS DE TAPIAL

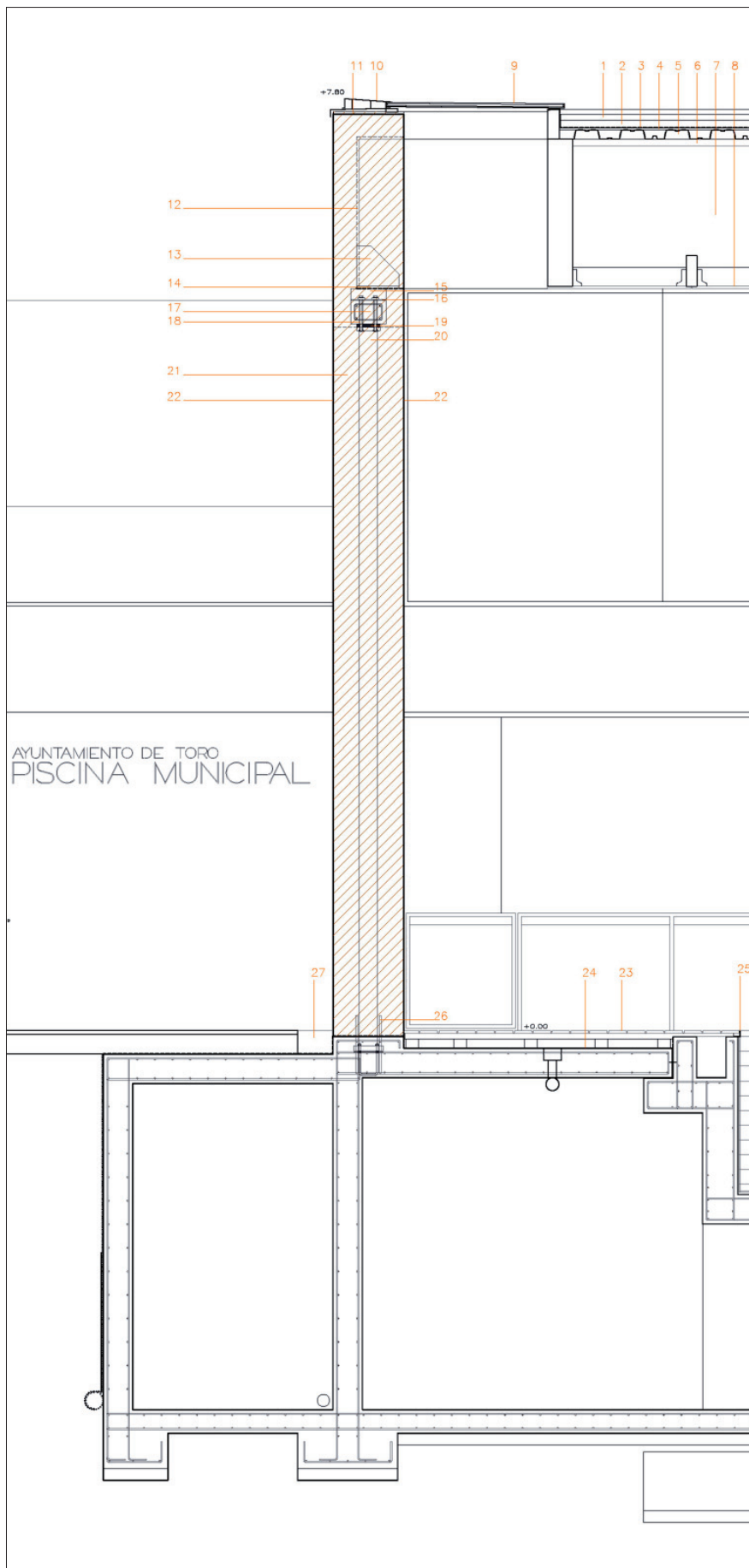
Los cerramientos exteriores se han ejecutado con muros de carga de tierra compactada. La zona más crítica a efectos estructurales y de estabilidad se concentra en el recinto del vaso de piscina, debido a la importante altura libre (6,40 m.), a la escasa carga permanente de la cubierta y a la gran separación entre los muros de arriostramiento (35,00 m.).

La solución estructural propuesta consiste en rigidizar el plano de cubierta garantizando un comportamiento espacial unitario de caja, y en postesar el muro de tapial incrementado la componente vertical, equilibrando los posibles empujes laterales y garantizando así la estabilidad.

La rigidización del plano horizontal de cubierta se realiza mediante una triangulación con vigas de madera laminada ensambladas con las vigas principales transversales (210 x 1250 mm.). Este diseño se realiza en todo el perímetro del paño con una profundidad de 4,90 m. salvando los lucernarios longitudinales. Se forma así una cercha horizontal capaz de transmitir

las posibles cargas horizontales entre los cuatro muros de tapial que delimitan el recinto del vaso de piscina. Este paño de cubierta se ancla a un nervio perimetral de remate embebido en el tapial. Aunque no se valoró en el cálculo, el revestimiento inferior de tablero perforado de madera contrachapada atornillada a las correas inferiores colabora en la rigidez del conjunto. Lo mismo sucede con la chapa grecada que delimita la cámara superiormente y que se ancla a la cabeza de las vigas de madera laminada mediante una línea de atornillado al tresbolillo. Conviene citar, por su trascendencia, que esta cámara de 1250 mm. de altura posee un sistema de impulsión de aire tratado para evitar posibles condensaciones.

La otra solución —el postesado del tapial— reparte la carga de tesado a través de un zuncho de coronación al que se ancla la cubierta, sumándose a sus acciones y centrando las cargas resultantes al incrementar la componente vertical para las mismas acciones horizontales (viento y sismo). Previamente se había descartado el incremento de peso en cubierta por penalizar a las vigas principales de madera (fundamentalmente a flecha), y para poder mantener los lucernarios longitudinales, que alejaban la carga del borde. La complejidad del postesado se concretó en la dificultad de garantizar que las vainas de tesado, embutidas en el tapial, no trasmitiesen cargas laterales al mismo, permitiesen la puesta en obra y solucionasen el nudo con la viga de coronación. Finalmente optamos por utilizar como pilares unos tubos metálicos autoportantes con junta elástica perimetral, que con su rigidez garantizaban la directriz recta y la ejecución del tapial por tongadas.



5 Detalle constructivo

01. Capa de grava con geotextil en la cara inferior, e=50 mm.
02. Aislamiento térmico mediante poliestireno extrusionado con geotextil en la cara inferior, e=60 mm.
03. Lámina impermeable de etileno-propileno con geotextil en la cara inferior, e=1,14 mm.
04. Tablero aglomerado hidrófugo, e=19 mm.
05. Chapa nervada de acero galvanizado, e=1,2 mm.
06. Aislamiento térmico mediante lana de roca con barrera de vapor en su cara inferior, e=60 mm.
07. Viga de madera laminada 210/1250 mm. (GL28H).
08. Falso techo compuesto por un tablero contrachapado marino con resinas fenólicas, resistente en ambientes húmedos, chapado en okumen, e=20 mm.
09. Vidrio doble de baja emisividad: 10 mm. vidrio templado/cámara 18 mm./6+6 mm. vidrio laminado.
10. Albardilla de acero cortén, e=3 mm.
11. Mortero cal/tierra 1:1:4, e=20 mm.
12. Separación con lámina drenante de polietileno, e=20 mm.
13. Cartela de apoyo de acero galvanizado anclada al zuncho.
14. Apoyo con lámina drenante de polietileno, e=20 mm.
15. Durmiente de madera aserrada tratada, 30x9 cm.
16. Chapa de acero S275JR galvanizada 300x400 mm., e=20 mm.
17. Zuncho perimetral embebido en el muro de tierra compactada, 30x20 cm.
18. Conectores de acero galvanizado Ø20 mm.
19. Separación mediante poliestireno expandido, e=30 mm.
20. Columna de acero galvanizado, Ø155.8.
21. Muro de tierra compactada tapial, e=60 cm.
22. Imprimación hidrófuga y fungicida.
23. Madera microcomposite.
24. Mortero hidrófugo.
25. Ángulo de acero inoxidable AISI-316.
26. Conectores de acero galvanizado Ø12 B500S cada 30 cm.



6 Fotografías de diversos ensayos: ensayo de bloque de tapial (retracciones), ensayo de diferentes dosificaciones en obra y en laboratorio, de compresión y de compactación por ultrasonidos en probetas.

Estos pilares se tesaban posteriormente mediante tornillos pasantes de cabeza anclada superiormente a la viga de coronación, previa interposición de una junta elástica compresible (poliestireno expandido tipo I) en la cara inferior de la viga. Este diseño, muy simple, evitaba que se produjeran cargas laterales al tesar la propia vaina recta autoportante; permitía un proceso de ejecución compatible con todas las fases constructivas; y, finalmente, las tracciones de los tornillos comprimían la junta elástica inferior, transmitiendo las cargas a la chapa de anclaje de la cara superior de la viga de coronación del muro, que a su vez transmitía la carga de tesado a todo el tapial (Fig. 05).

Por otra parte, el proyecto de ejecución, desarrollado a partir de la información técnica disponible⁵, establecía una serie de criterios para la composición y características de la tierra de los tapiales⁶: densidad entre 1,6 y 1,8 Kg/m³, resistencia a compresión de cálculo 3 Kg/cm², curva granulométrica, tensión de rotura a compresión de los testigos >20 Kg/cm². En el proyecto de ejecución también se prescribían ensayos, la preparación y corrección de la tierra, muestras para la determinación de las texturas y color, detallando incluso los procesos específicos de construcción, como la protección con plásticos de la testa y la superficie de los muros.

3. EL PROCESO DE EJECUCIÓN

Las prescripciones del proyecto se fueron materializando en obra en la manera que se indica a continuación.

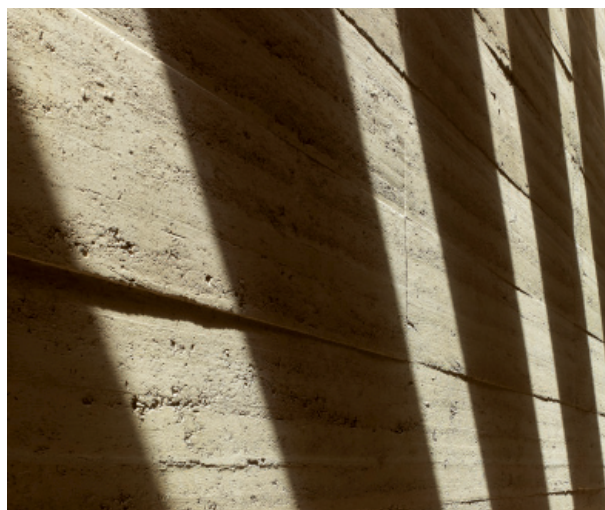
3.1 Preparación de la tierra acopiada de la excavación

- Humectación hasta la humedad natural (6%-8%), trituración y homogeneización de la tierra base (eliminación de terrones mediante maquinaria y descarte de tierras con material orgánico o escombros).
- Tamizado de la tierra (eliminación de áridos mayores a 20 mm.).
- Toma de muestras del terreno tratado y caracterización⁷. En este caso teníamos un alto contenido de montmorillonita (>15%).
- Adaptación de la tierra base a la curva granulométrica seleccionada, bajando el contenido de arcilla, mediante:
 - * Áridos. La adición de arenas gruesas (diámetro de 1 mm.) y gravas areniscas y graníticas de color blanco-crema de 20 mm de diámetro. Por tanto, de cada m³ de tierra base se obtuvieron 2 m³ de tierra para la ejecución de tapiales.
 - * Conglomerantes. Se analizaron mediante ensayo diversas dosificaciones de cemento y cal, comprendidas entre el 3% y el 6% en peso.
 - * Aditivo. Estaba prescrito el uso de impermeabilizantes en masa tipo Sika 1.



7 (Izda.) Apoyo del muro de tapial sobre cimentación de hormigón armado, previa aplicación de mortero impermeable (blanco) y colocación de conectores verticales de acero galvanizado. También se aprecia el armazón metálico de sustentación de los encofrados de madera para el tapial.

8 (Dcha.) Imagen de la textura del tapial, artifice de la expresividad de este proyecto, conjuntamente con la luz.



Con estos criterios se realizó una batería de ensayos encaminados a seleccionar una dosificación que cumpliera las exigencias mecánicas y de textura del proyecto (Fig. 06). Se determinó la resistencia a compresión, densidad, compactación, retracción y absorción de agua. Tras los ensayos, la composición final del muro fue la siguiente:

- Arena: 0,15 m³., con una granulometría continua de 1-2 mm.
- Cantos rodados: 0,85 m³., con una granulometría continua de 2-20 mm.
- Conglomerantes: se añadió un 4% de cemento blanco II/B-LL 42,5R y un 2% de cal apagada.
- Aditivos: se utilizó un impermeabilizante líquido tipo Sika 1 (dosificación 1:14 - aditivo: agua), en el agua de amasado.

Para esta dosificación final, la resistencia a compresión superó los 20 Kg/cm². Las mediciones de retracción de laboratorio en muestras de gran tamaño no dieron resultados significativos a los 28 días. Posteriormente se constató que la medición hubiera debido ser más precisa y haberse realizado sobre una muestra de 150 cm. de longitud, secada a la intemperie en obra durante seis meses (protegiendo la testa con un plástico). En la última fase de la obra se utilizó un armado de la masa con fibras sintéticas de polipropileno (SikaCim Fibras-6), con buen resultado⁸.

3.2 Amasado

Se dejó muy claro a la constructora la importancia de

garantizar un proceso de amasado que asegurara una respuesta homogénea según lo proyectado. El amasado nunca fue inferior a 15 min. por carga.

3.3 Puesta en obra

El apoyo del muro de tierra se ejecutó sobre una cimentación de hormigón armado por encima del nivel del terreno y de los niveles de escorrentía, con conectores metálicos de acero galvanizado, aplicándose, en todos los casos, una barrera impermeable mediante un mortero específico (Fig. 07).

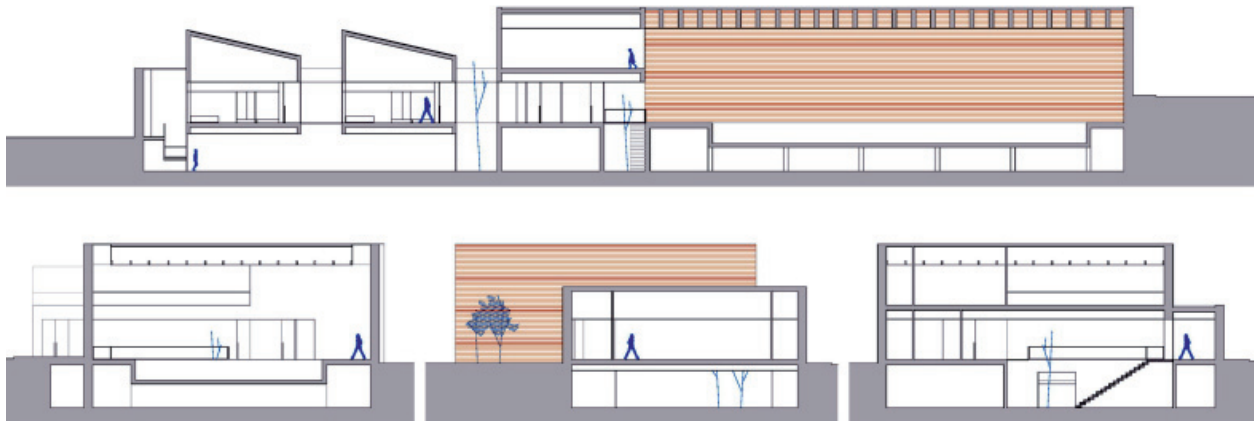
Se colocaron los encofrados de tableros con sus correspondientes conectores, determinándose la apariencia del tapial.

Se vertieron tongadas en espesores comprendidos entre los 10-12 cm. para su compactado. Cada cinco hiladas (50-75 cm.) se vertió una capa rica en cal como refuerzo. Las primeras tongadas fueron ricas en cemento y aditivo impermeabilizante para evitar la absorción de agua.

Se utilizaron compactadores mecánicos manuales.

Se protegieron las superficies —y sobre todo la testa del muro— con lonas plásticas.

El muro lleva embebido en su coronación, como ya se ha explicado, una viga de canto de hormigón armado que ata la cabeza, transmitiendo la compresión de postensado y sirviendo de apoyo a las vigas de madera laminada.



9 Secciones significativas del edificio donde se aprecia el volumen del recinto del vaso de piscina y los patios que organizan el espacio de vestuario y gimnasio. Los tejados albergan los paneles solares orientados al sur.

Se repararon y limpiaron las superficies de los muros, para después aplicar los estabilizadores superficiales, con efecto perlante, algicida, fungicida e hidrófugo de siloxanos en base orgánica, mediante inundación en dos manos, lo que no afectó al aspecto visual final (Fig. 08).

4. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética ha sido una de las premisas básicas de la propuesta. Se materializó en dos tipos de soluciones: las pasivas y las activas.

Entre las primeras, cabe destacar la inclusión de patios y lucernarios que permiten la ventilación cruzada de todas las zonas y su iluminación natural (Fig. 09). Al mismo tiempo, la vegetación de hoja caduca prevista en estos patios busca aportar sombra en verano y permitir el paso de la luz en invierno. El tapial se comporta como regulador higrotérmico; aportando inercia y control de la humedad. Los aislamientos de cubierta se incrementan hasta los 12 cm. El recinto del vaso de piscina se dimensiona con el mínimo volumen de agua que permite la normativa para filtrar, bombear y calentar menor cantidad de agua. Además, se proyecta un depósito adicional que almacenará el excedente normativo de agua por renovación, para su reutilización en el sistema de riego de los patios y la plaza anexa.

En cuanto a las soluciones activas —no estando aún vigente el Código Técnico de la Edificación durante la fase proyectual— se empleó la energía termo-solar

captada mediante paneles, especialmente para calentar el agua de la piscina y sanitaria.

El proyecto buscó aunar forma y requerimientos de eficiencia en una arquitectura integrada en el paisaje, lo que seguramente fue un factor decisivo para que obtuviera el primer premio ex-aequo de Edificación Sostenible en Castilla y León (2006).

5. CONCLUSIONES

Somos conscientes de que nuestro objetivo de explicar esta experiencia profesional desde la óptica del arquitecto y de la metodología que le es propia no coincide con el método científico, en cuanto a que en la toma de decisiones se incluyen factores estéticos, culturales y valores etnográficos; pero sin embargo, pensamos que complementa las investigaciones técnicas sobre tapial, identificándolas con su finalidad: la obra arquitectónica.

Las conclusiones y recomendaciones se resumen en los siguientes puntos:

- El postesado del tapial ha permitido equilibrar la resultante de acciones sobre el muro sin violentar los presupuestos compositivos del proyecto arquitectónico.
- El proyecto debe prever una campaña de ensayos extensa que permita determinar los siguientes aspectos, al menos, sobre la tierra limpia y cernida de la excavación: clasificación de la tierra (granulometría, tipo arcilla, etc.), caracterización para

- diferentes dosificaciones (tierra, arena, aditivos, agua, cal y/o cemento), determinación de retracciones diferidas y comprobación de la compactación en el tapial construido⁹.
- El control de las retracciones —algo conocido y recogido ampliamente en la bibliografía sobre el tema— se revela como el talón de Aquiles de estas soluciones, al solaparse en el tiempo las mediciones de laboratorio y la propia ejecución de la obra. En nuestro caso, la máxima retracción se ha producido pasados los seis meses de la ejecución, estabilizándose posteriormente. Para mitigar este problema caben las siguientes recomendaciones:
 - * Armar el tapial con fibras de polipropileno, teniendo en cuenta en la proporción no sólo las adiciones de conglomerantes, sino un porcentaje de arcilla (como se realizó en la fase final de esta obra, con buen resultado).
 - * La puesta en obra tradicional, en longitudes de muro cercanas a 3-5 metros, se revela como una buena solución para disminuir los efectos de la retracción, por la formación de juntas de trabajo trabadas (colocación de encofrados transversales con machihembrado).
 - * La comprobación en obra del grado de compactación mediante ensayo de densidad nuclear (densidad y humedad).
 - La utilización de un impermeabilizante en masa como Sika 1, añadido en el proceso de amasado, ha incrementado la resistencia a compresión, y ha atenuado la capacidad de absorción de agua, según ensayos.
 - Tener el máximo cuidado en la protección de la testa es indispensable para los muros de tapial, tanto durante su ejecución como en su estado final.
 - Es recomendable prever en el proyecto las operaciones de reparación de la superficie (daños por golpes o tapado de fisuras). En el proceso de reparación de grietas hemos utilizado distintas técnicas de inyección de barros con resultado desigual¹⁰, decantándonos finalmente por la apertura de la grieta, su relleno y terminación con lechada de barro.
 - La impregnación hidrofugante de siloxanos en base orgánica (interior y exteriormente), tipo Sikaguard 710, aplicada sobre el tapial terminado ha dado un magnífico resultado.
 - La ejecución fue rápida y sin contratiempos, pese a la novedad de la puesta en obra y sus dimensiones, en gran parte gracias al esmero y cuidado de la constructora Ferroviaria y a la empresa especializada Betão e Tapia.
 - La respuesta del último año, en régimen de servicio, con un clima exterior continental y *tropical* interior ha sido perfectamente controlado por el tapial. Las retracciones están estabilizadas.
 - Pese a la ausencia de aislamiento térmico en los muros de tapial, la inercia térmica y el control de humedad de la tierra compactada aportan una buena sensación ambiental.

Notas

1. Cf. ASTM Standard, ASTM E2392 / E2392M - 10e1 Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2010). Doi: 10.1520/E2392_E2392M-10E01.
2. Cf. por ejemplo, Otto Kapfinger, *Martin Rauch: Rammed* (Bassel: Birkhäuser, 2001); Rick Joy, *Rick Joy Desert Works* (New York: Princeton Architectural Press, 2002).
3. Cf. Gernot Minke, *Manual de construcción en tierra* (Montevideo: Fin de siglo, 2001), 47-56. En este libro, a las referencias arquitectónicas se unen datos técnicos concretos necesarios para definir los parámetros de la ejecución.
4. Cf. respectivamente, Inter-acción/Fundación Navapalos, *Construir con tierra* (Madrid: Ministerio de Fomento, 2002); Luis Maldonado Ramos y Fernando Vela Cossío, *Técnicas y sistemas tradicionales. Curso de construcción con tierra I* (Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1999); y Gonzalo Bauluz del Río y Pilar Bárcena Barrios, *Bases para el diseño y construcción con tapial* (Madrid: MOPT, 1992). Luis Maldonado Ramos, David Rivera Gómez y Fernando Vela Cossío, *Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e innovación* (Madrid: Mairca, 2002). Estos últimos autores aportan concreción técnica del concepto bioclimático.
5. Bauluz, *Bases para el diseño*, 21-27.
6. Cf. respectivamente, Minke, *Manual de construcción*, 41; *DIN 18954. Ausführung von Lehmbauten, Richilini* (Berlín: DIN Deutsches Institut für Normung, 1956), que fija la resistencia a compresión entre 3-5 Kg/cm²; Bauluz, *Bases para el diseño*, 42 (existe una gráfica que establece una curva ideal para la tierra de tapial; en este caso se adoptó esta curva modificada con criterios emanados del libro de Minke); y Minke, *Manual de construcción*, 51, que aconseja que la resistencia a compresión sea de 20-50 Kg/cm².
7. Cf. Fermín Font i Mezquita y Pere Hidalgo i Chulio, «La tapia en España. Técnicas actuales», *Informes de la construcción* 63 (2011): 24. Doi: 10.3989/ic.10.015,24. Este artículo realiza indicaciones sobre los ensayos que deben prescribirse en el proyecto.
8. Minke, *Manual de construcción*, 48. Cita las técnicas tradicionales de armado con fibra.
9. Cf. Font, *La tapia en España*, 24
10. Cf. Julio Vargas-Neumann, Marcial Blondet y Francisco Ginocchio «Uso de grouts de barro líquido para reparar fisuras estructurales en muros históricos de adobe», en *Actas V Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra* (Cuenca de Campos, Valladolid, 20 y 21 de septiembre 2008).

Ficha técnica

Nombre del proyecto: Piscina Municipal de Toro (Zamora).

Cliente: Ayuntamiento de Toro.

Ubicación: Calle Bustamante s/n, Toro (Zamora).

Fechas: Septiembre 2004, concurso. Diciembre 2005, proyecto. Octubre 2006-agosto 2010, construcción.

Arquitectos de proyecto y directores de obra: VIER ARQUITECTOS SLP (Antonio Raya, Cristóbal Crespo, Santiago Sánchez y Enrique Antelo).

Arquitectos colaboradores del proyecto: Pablo Vilares, Cristina de Vera y Ruth Varela.

Dirección de ejecución: José María Sastre.

Contratista: Valsan Construcciones y Contratas SL (hasta marzo de 2009, estructura parcial). Ferroviario Agromán S.A. (desde septiembre de 2009, resto de la obra).

Superficie construida: 2441,00 m².

Procedencia de las ilustraciones

Fig. 01-04 y 08. Héctor Fernández Santos-Díez.

Fig. 05, 07 y 09. Vier Arquitectos SLP.

Fig. 06. Eptisa y Vier arquitectos SLP.

Referencias

Bauluz del Río, Gonzalo y Pilar Bárcena Barrios. *Bases para el diseño y construcción con tapial*. Madrid: MOPT, 1992.

ASTM Standard. ASTM E2392/E2392M-10e1 Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2010. Doi: 10.1520/E2392_E2392M-10E01.

Bestraten, S., E. Hormías y A. Altemir. «Construcción con tierra en el siglo XXI», *Informes de la Construcción* 63 (2011): 5-20. Doi: 10.3989/ic.10.046.

DIN 18954. Ausführung von Lehmbauten, Richtlinien. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung, 1956.

Font i Mezquita, Fermín y Pere Hidalgo i Chulio. «La tapia en España. Técnicas actuales», *Informes de la construcción* 63 (2011): 21-34. Doi: 10.3989/ic.10.015.

Inter-acción/Fundación Navapalos. *Construir con tierra*. Madrid: Ministerio de Fomento, 2002.

Joy, Rick. *Rick Joy Desert Works*. New York: Princeton Architectural Press, 2002.

Kapfinger, Otto. *Martin Rauch: Rammed Earth*. Basset: Birkhäuser, 2001.

Maldonado Ramos, Luis, David Rivera Gómez y Fernando Vela Cossío. *Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e innovación*. Madrid: Maireta, 2002.

Maldonado Ramos, Luis y Fernando Vela Cossío. *Técnicas y sistemas tradicionales. Curso de construcción con tierra I*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1999.

Minke, Gernot. *Building with earth: design and technology of a sustainable architecture*. Basel: Birkhäuser, 2006.

—*Manual de construcción en tierra*. Montevideo: Fin de siglo, 2001.

Vargas-Neumann, Julio, Marcial Blondet y Francisco Ginocchio. «Uso de Grouts de Barro líquido para reparar fisuras estructurales en muros históricos de Adobe», en *Actas V Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra* (Cuenca de Campos, Valladolid, 20 y 21 de septiembre 2008).

Sobre los autores

Enrique Antelo Tudela, Santiago Sánchez Iglesias y Antonio Raya de Blas son arquitectos y profesores del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA de la Universidad de Coruña; Cristóbal Crespo González, arquitecto, es profesor del Departamento de Proyectos Arquitectónicos y Urbanismo del mismo centro. En 2002 crean Vier arquitectos (A Coruña), en continuidad con QRC arquitectos. El despacho dirige su atención principalmente hacia programas institucionales y residenciales, experimentando con nuevas técnicas y materiales.

enrique.antelo@udc.es