



Received: 24-05-2018
Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación
Vol. 4, Nº 2, 53-60 (2018)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2018.3779

Las termas romanas de Mura en Lliria (Valencia). Un doble complejo termal y un santuario oracular único en la Hispania Citerior. The Roman baths of Mura in Lliria (Valencia). A double thermal complex and a unique oracular sanctuary in Hispania Citerior.

Santiago Tormo

Universitat Politècnica de València (santores@arq.upv.es)

Resumen— Las termas romanas de Mura, localizadas en la ciudad romana de Edeta (Lliria), conjuntamente con el santuario oracular colindante y diversas dependencias como tabernas, hospicios y tiendas, constituyen uno de los ejemplos más interesantes de la arquitectura termal de la Hispania Citerior, dentro del Conventus Tarraconensis. Estas termas forman parte de uno de los complejos termales más grandes documentados hasta la fecha en toda la península, distribuyendo en un total de 3.600 m², un espacio polifuncional con unas termas dobles con palestra porticada siguiendo los modelos pompeyanos. En estos edificios termales el agua y el fuego son utilizados con una gran destreza y pericia constructiva para desarrollar un complejo sistema de calefacción mediante espacios entre los muros y conductos entre las bóvedas, consiguiendo un óptimo y eficiente uso de los materiales y de la energía calorífica que se transmite a través de los mismos. Los materiales y sistemas constructivos se han podido estudiar con detalle gracias a las distintas campañas de excavaciones arqueológicas iniciadas en 1971 y sobre todo a la última intervención arquitectónica finalizada en el año 2014, cuyo objetivo ha sido conservar y consolidar los restos arquitectónicos del edificio y adecuarlos para una puesta en valor digna, acorde con la envergadura del yacimiento. Durante los años 2014-2017, los trabajos de investigación desarrollados para obtener la tesis doctoral dentro del programa de doctorado en arquitectura, edificación, urbanística y paisaje de la UPV (Tormo, 2017), han permitido ampliar los conocimientos técnicos y adaptar su arquitectura a modelos informáticos capaces de simular el funcionamiento y el comportamiento térmico de todo el edificio. Las conclusiones son sorprendentes ya que estipulan por primera vez, la apertura secuencial de los sistemas de comunicación entre las salas y sus conductos de comunicación entre los hornos y el exterior para un correcto funcionamiento de la instalación.

Palabras clave— Funcionalidad, comportamiento térmico, termas romanas, Lliria.

Abstract- The Roman baths of Mura, located in the Roman city of Edeta (Lliria), together with the adjacent oracular sanctuary and various outhouses such as taverns, hospices and shops, constitute one of the most interesting examples of the thermal architecture of Hispania Citerior, within of the Conventus Tarraconensis. These thermal baths are part of one of the largest thermal complexes documented to date in the entire peninsula, distributing in a total of 3,600 m², a polyfunctional space with double hot springs with porticoed patio following the Pompeian models. In these thermal buildings water and fire are used with great skill and constructive expertise to develop a complex heating system through spaces between the walls and ducts between the vaults, achieving an optimal and efficient use of materials and heat energy that is transmitted through them. The materials and construction systems have been studied in detail thanks to the various archaeological excavation campaigns begun in 1971 and especially to the last architectural intervention completed in 2014, whose objective has been to conserve and consolidate the architectural remains of the building and adapt them for a worthy valorization, according to the size of the deposit. During the years 2014-2017, the research works developed to obtain the doctoral thesis within the doctoral program in architecture, building, urban planning and landscape of the UPV (Tormo, 2017), have allowed to expand the technical knowledge and adapt its architecture to computer models able to simulate the functioning and thermal behavior of the entire building. The conclusions are surprising since they stipulate for the first time, the sequential opening of the communication systems between the rooms and their communication channels between the ovens and the outside for a correct operation of the installation.

Index Terms— Functionality, thermal behavior, Roman baths, Lliria.

I. INTRODUCCIÓN

Edeta es el nombre de la antigua ciudad romana ubicada en la actual ciudad de Lliria. Se encuentra al norte de la provincia de Valencia. Capital de la comarca del Camp de Turia con uno de los términos municipales más grandes de la Comunidad Valenciana y con un gran patrimonio histórico cultural y musical (figura 1). Dio nombre a un territorio muy amplio en época ibera. Sus habitantes se conocieron como edetanos. Posteriormente tras la conquista por parte del imperio romano, Edeta mantuvo su nombre y paso a ser un municipio de derecho latino dentro del Conventus Tarraconensis. Muy vinculada con las ciudades de Saguntum, Valentia y Saetabis (Xàtiva).

Esta población tuvo una extensión considerable teniendo una posición predominante en el comercio que circulaba desde el

mar al interior de la península. A mediados del siglo II d.C y gracias a la figura del General Marco Cornelio Nigrino, pretendiente al trono de Emperador de Roma, la ciudad vivió su máximo esplendor tanto a nivel social como a nivel arquitectónico, construyendo edificios de gran porte y envergadura del que tan solo nos queda el testimonio del complejo termal y santuario oracular de Mura (figura 2). Ubicado en la vía de acceso noreste de la ciudad, este gran complejo termal y religioso se extiende sobre más de 3.500 m² a pocos metros del centro de la ciudad. Estaba compuesto por unas termas dobles, una gran palestra, y un conjunto de edificios alrededor del santuario oracular (figura 3).

El objetivo principal de esta investigación se ha centrado en poder averiguar cuál es el mecanismo de encendido de una terma romana determinando el protocolo de aperturas de

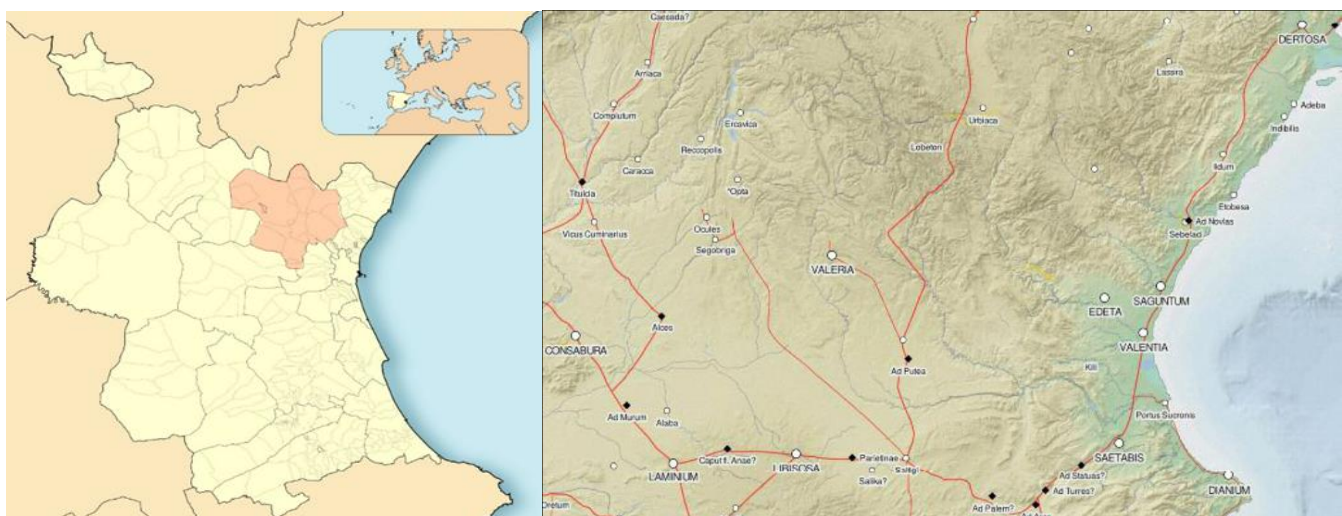


Fig. 1. Ubicación y situación de la comarca y ciudad de Edeta.

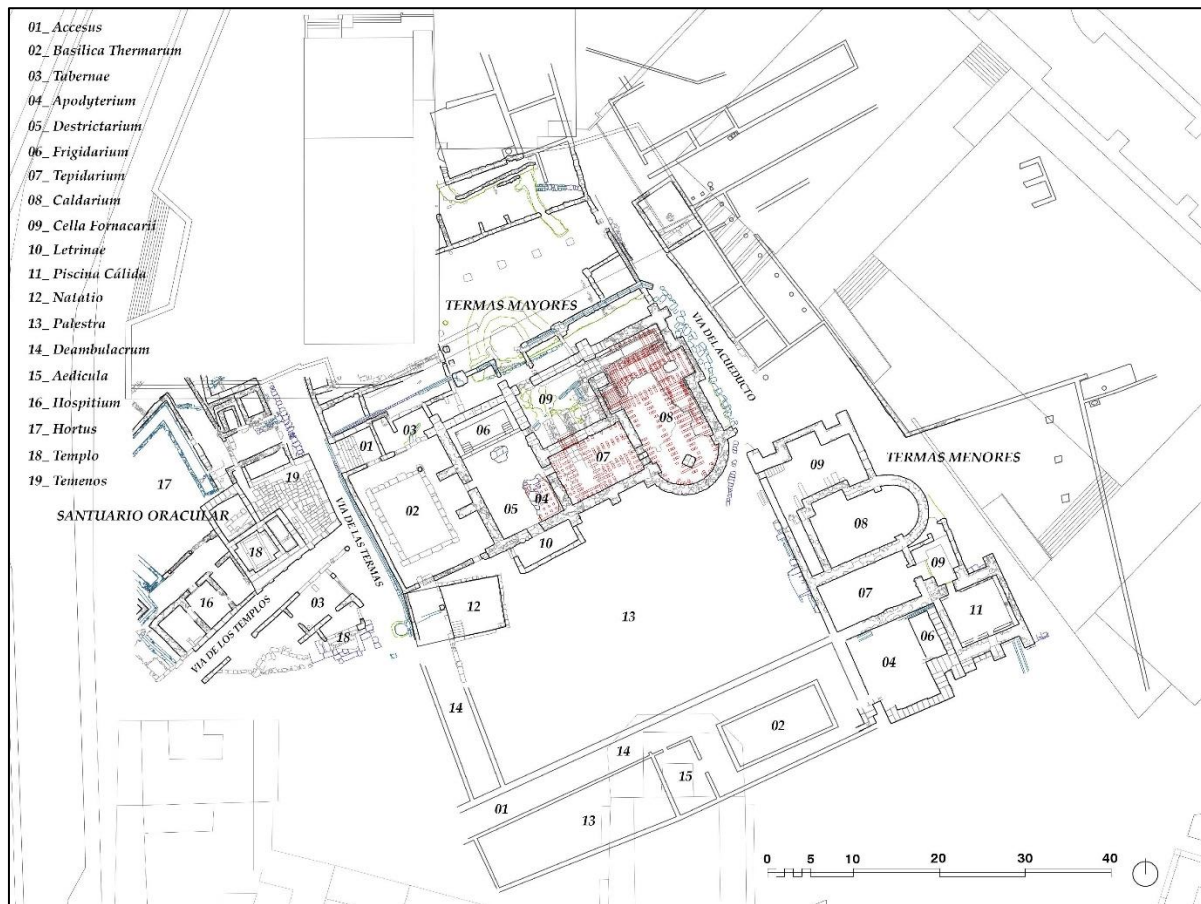


Fig. 2. Planta del complejo de Mura.



Fig. 3. Reconstrucción del complejo termal de las termas mayores de Mura a partir del modelo arquitectónico de Julián Esteban y Elisa Moliner. Autor: Global Mediterranea, S. L. (Esteban & Moliner, 2015)

conductos de ventilación, tiempos de encendido del fuego, cantidades de combustible y determinar la eficiencia energética al comprobar las temperaturas en cada una de las salas.

La metodología seguida se basa en la aplicación de los

programas informáticos FDS (fire dynamic simulator) y Smokeview, los cuales simulan y calculan sobre un modelo introducido las ecuaciones que definen la dinámica de fluidos computacional (CFD) resolviendo las situaciones generadas por

conducción, convección y radiación dentro de las termas romanas.

II. TERMAS MAYORES

Las termas mayores son una construcción que cierra el conjunto termal por el noroeste y ocupa una superficie aproximada de 2.100 m², de los cuales 1.200 m² pertenecen al edificio termal propiamente dicho y los 900 m² restantes a dependencias para el mantenimiento del conjunto y la palestra. El edificio termal compositivamente consta de dos cuerpos: las estancias de baño y servicio (caldarium, tepidarium, frigidarium, apoditerium, cella fornacarii y letrinas) y el cuerpo de entrada y palestra (basilica thermarum, tabernae, natatio, palestra). La entrada del público estaba situada en la calle de las Termas por donde se ingresaba a la primera estancia de las termas, una especie de vestíbulo, que se podría denominar también accesus o ingresus, cuenta con una escalinata de siete escalones que permite salvar el desnivel del edificio con respecto a la calle (figura 4). Este vestíbulo con pavimento de losetas cerámicas romboidales es una sala de planta rectangular (4,67 m de largo por 3,73 o 3,84 m de ancho), situada entre la

puerta de la calle (porta thermarum), de doble hoja y una luz de 2,07 m, y la puerta interior (ostium), definida por un umbral de piedra caliza que muestra aún las marcas de haber tenido una puerta de doble hoja con una luz de 1,40 m a través de la cual se accedía a la basilica thermarum (Escrivà & Vidal, 1995).

Constructivamente los paramentos que definen las salas están realizados con técnicas diversas. El muro norte es de opus quadratum, confeccionado a base de sillares de piedra caliza (150 cm de soga por 65 cm de tizón y 50 cm de espesor) de procedencia local trabados en seco, dispuestos en hiladas horizontales que asientan directamente sobre el terreno natural. El muro sur es un opus incertum, con bloques de piedra pequeños, irregulares, trabados con mortero de cal. A su vez el muro este es de obra mixta, la hilada inferior está realizada opus quadratus con tres grandes sillares de piedra dolomítica azulada de Alcublas (120 cm de soga, 55 cm de tizón y 40 cm de espesor), la segunda hilada es opus vittatum compuesta de sillarejo que alterna la piedra azul con la caliza local (23/24 cm de alto por 31/32 cm de largo y 17 cm de grosor) mientras que la tercera fila vuelve a ser a base de sillares de piedra caliza del lugar. En ocasiones aparecen sillares de piedra arenisca silícea de rodeno.

La gran tipología de material cerámico aparece

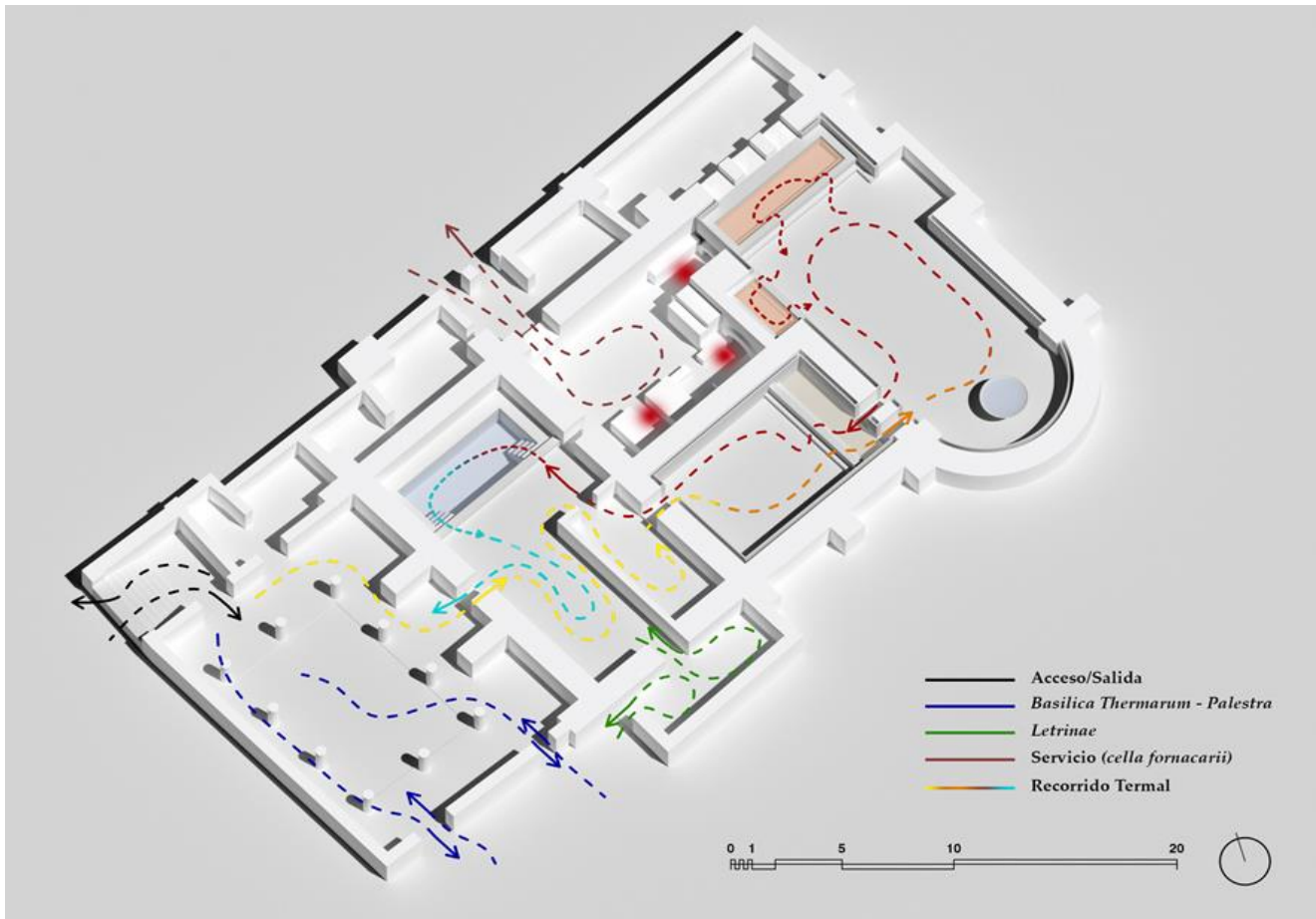


Fig. 4. Distribución y recorrido de las termas mayores.

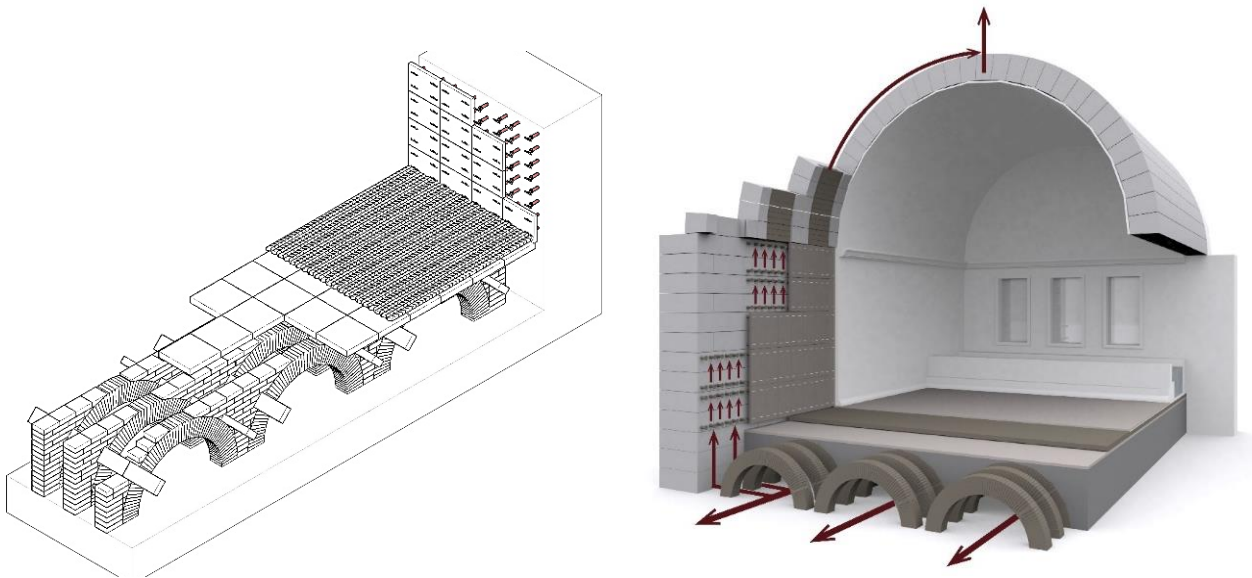


Fig. 5. Esquema constructivo del *hypocaustum* del *caldarium* y de la circulación por la *concameratio*.

perfectamente justificada según su funcionalidad y uso. Del total de las 12 tipologías encontradas las más singulares por su forma son las piezas *cunneati*, piezas en forma de cuña que superponiéndolas una sobre la otra, generaban los arcos con los que se construían la suspensura del *hypocaustum* (figura 5).

Hay que destacar también, los sistemas constructivos que permiten la calefacción de las salas tanto del *caldarium* como del *tepidarium*. La principal característica radica en la necesidad de permitir circular el aire caliente para calefactar por conducción los materiales que componen el *hypocaustum* y las paredes, aportando una mayor temperatura en dichas salas. El sistema es sencillo y basado en los principios que rigen la termodinámica. Desde los distintos hornos situados en los extremos de las salas, se genera la circulación de aire gracias a la convección del aire caliente que fluye por los espacios diseñados en las paredes y por los conductos de ventilación dispuestos en los muros de cada sala.

III. COMPORTAMIENTO TÉRMICO E HÍDRICO

Para poder averiguar los comportamientos térmicos de los materiales se hicieron varios experimentos. El primero consistió en medir la conductividad térmica real de un resto del pavimento del suelo del *caldarium* (figura 6). Se fabricó una caja de poliestireno con una resistencia eléctrica que le diera la potencia equivalente de calor para conseguir una temperatura superficial de 40°C. Con ello conseguimos elaborar un balance de energía que permitía saber la cantidad de pérdidas de energía que se producían en todas las caras la caja y la cantidad de calor que tenía la muestra. Con este dato y despejando los valores en la ecuación de la ley de Fourier se pudo obtener el valor de la k , conductividad térmica real del pavimento de la sala caliente.

Otro experimento permitió comparar el comportamiento térmico de distintos pétreos utilizados en la construcción del edificio. Se pudo constatar que los materiales pétreos utilizados



Fig. 6. Experimento realizado para averiguar el valor de " k " del pavimento de la sala del *caldarium*.



Fig. 7. Esquema de abastecimiento (a) y evacuación de agua (b) en las termas mayores.

en las zonas más próximas al fuego eran lo que mejor resistían el choque térmico y aquellos con gran inercia térmica eran utilizados para las zonas de las paredes de los muros.

Con estos dos ensayos se pudo concluir cuales eran los valores reales, tanto de materiales en particular como de sistemas constructivos y con los datos obtenidos poder utilizarlos posteriormente en la simulación informática que nos determina su funcionalidad.

En cuanto al comportamiento hídrico de la instalación, las investigaciones realizadas pudieron determinar el recorrido de entrada y salida que realiza el agua desde el punto de abastecimiento hasta el punto de desagüe que conecta con la red de alcantarillado realizado por los romanos (figura 7). Debido a la necesidad de distribuir el agua en distintas alturas se pudo constatar la existencia de una noria que elevaba un determinado caudal en las tuberías de que tenían una mayor altura. Dicho mecanismo se situaba en la zona de servicio y estaba compuesto por dos grandes depósitos y una noria vertical que mediante un movimiento de giro elevaba la cantidad de agua a distribuir.

La investigación también se ha centrado en asegurar el punto de captación de agua y que dicho abastecimiento ha sido cuantificado para permitir certificar que el consumo de agua que la instalación necesitaba no superaba al caudal que podía transportar el conducto. La principal hipótesis que se ha podido constatar es que dicho punto se situaba en el parque de Sant Vicent, a escasos km de la ciudad y que su afloramiento y topografía lo consideraban como la opción más factible y óptima de abastecimiento a la ciudad.

IV. FUNCIONALIDAD

El análisis realizado para simular un encendido de los hornos en las termas se ha realizado mediante dos programas

informáticos que analizan la dinámica de fluidos por elementos finitos y que, según el modelo arquitectónico, y los datos introducidos, nos pueden acercar a saber el correcto y óptimo funcionamiento que pudieron tener las salas calientes de las termas. Es difícil corroborar que las hipótesis planteadas fueran las que realmente se llevaran a cabo en la época romana. Lo que sí podemos saber es si esas hipótesis son funcionales o no, ya que el resultado obtenido, dependiendo de los datos reales conocidos, nos indicará si siguen los principios en los que se basa la termodinámica y la dinámica de los fluidos.

El software empleado en todas las simulaciones correspondientes en la investigación ha sido ejecutado en los dos programas siguientes:

- Fire Dynamics Simulator – FDS 5.0
- Smokeview

El primero corresponde a un programa que simula y calcula, sobre un modelo introducido, las ecuaciones que definen la dinámica de fluidos computacional (CFD) resolviendo las situaciones generadas por conducción, radiación y sobre todo las de convección. El programa considera el modelo como un cuerpo formado por celdas en las tres direcciones a las que se les introduce sus propiedades físicas (como la densidad) y térmicas (conductividad, calor específico). Estos datos se introducen al considerar las celdas como cuerpos sólidos (el programa los describe como obstrucciones) cuyas propiedades se introducen definiendo cada celda con su naturaleza, es decir con el material de construcción (piedra, ladrillo, agua, etc.). En el caso de cavidades o huecos llenos de aire, las celdas se introducen de la misma forma, simplemente indicándole que dicha celda corresponde a un sólido “vacío” que contiene aire, registrando sus propiedades de igual forma que si se tratase de celdas sólidas.

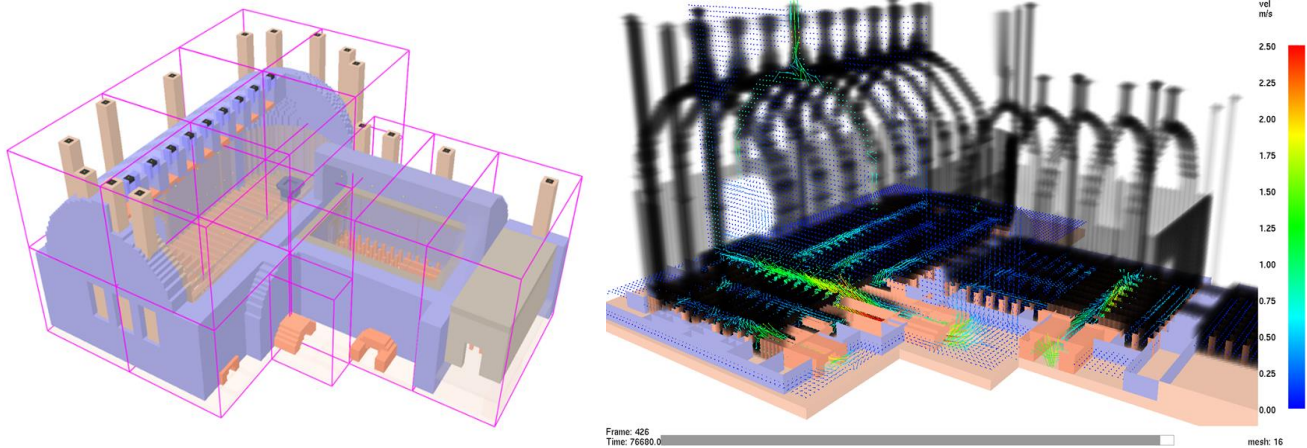


Fig.8. Esquema del modelo y malla de celdas efectuado.

Para los elementos sólidos, cuyas propiedades térmicas se han introducido según la naturaleza del edificio y sus materiales, el programa calcula y obtiene para cada intervalo de tiempo los resultados de la temperatura en los límites de la celda, el flujo de calor por convección y por radiación y la velocidad de combustión.

Para los elementos considerados vacíos (es decir, los que están rellenos de gas) el programa determina, entre otros aspectos la temperatura del gas (en nuestro caso aire) y la dirección y velocidad que alcanza por convección dicho gas.

Para todo el sistema modelizado también puede indicarse que se obtienen los siguientes definidos como HRR (heat release rate) de todo el edificio, los comportamientos de los sensores, tanto de temperatura como de viento, según la evolución en el tiempo y los flujos de masa y energía a través de las aberturas y espacios generados.

El programa realiza una gran operación matemática con todas las ecuaciones de la termodinámica que afectan a cada situación de cada celda, que considera como un elemento finito y homogéneo, y le va implementado los resultados de las celdas contiguas. De esta forma, al final del cálculo se puede obtener el resultado de la hipótesis planteada a partir de las propiedades de cada celda y de las condiciones del contorno introducidas en el modelo (figura 8). Hay que indicar que la cantidad de cálculos y ecuaciones variará según el tamaño y cantidad de celdas. Cuanto más pequeña es la celda más precisa será la obtención de los resultados, aunque existen estudios que demuestran que no depende tanto del tamaño de la celda sino de la geometría del modelo (Dufour, 2006).

Tras el cálculo de más de un centenar de simulaciones se generaron 13 hipótesis de funcionamiento atendiendo a los resultados obtenidos en cada una de ellas y estableciendo cual debería de ser el protocolo de funcionamiento de la instalación, así como conocer la temperatura que se tenía en cada una de las

salas y la secuencia de aperturas de los conductos de ventilación. Es curioso e interesante hacer saber que la puesta en marcha de las termas tenía que seguir una secuencia de aperturas según el transcurso del tiempo, ya que las simulaciones demostraban que el tener abiertas todas las ventilaciones, la calefacción de la terma no era ni óptima, ni eficiente.

V. CONCLUSIONES

A modo de extracto de las conclusiones de la investigación se presentan las siguientes:

Los materiales cerámicos identificados respetan la estandarización habitual de los latteres cocti, aunque también se observan otras piezas singulares como los *cunneati* y las de trabazón de las arquerías.

El sistema de ventilación de las bóvedas es singular. La solución constructiva empleada para la circulación del aire caliente de la *concameratio* no se conocía en ninguna otra instalación termal.

Ha quedado demostrado, considerando un balance energético en condiciones estacionarias de las termas analizadas, los valores reales de todos los parámetros necesarios para calcular la conductividad térmica de la suspensura, obteniendo un valor de $k = 0.85 \text{ W/m K}$.

Se ha calculado el valor mediante simulación computacional obteniendo valores muy próximos a los experimentales con lo que podemos afirmar que la simulación repite los comportamientos reales.

Se ha podido establecer un protocolo de aperturas de los conductos que garantiza un óptimo funcionamiento de la instalación.

	7:00	9:00	11:00	17:00	7:00 (+1)	9:00 (+1)	11:00 (+1)
Evento(seg)	0	7200	14400	36000	86400	93600	100800
HV1		A	A			A	A
HV2		A	A			A	A
HV3		A	A			A	A
HC1		A	A			A	A
HC2	A				A		
HC3	A				A		
PA1			A				A
PA2			A				A
PA3			A				A
HA1		A				A	
HA2		A				A	
BC1			A				A
BC2			A				A
BC3			A				A
BC4			A				A
BC5			A				A
BC6			A				A
BC7			A				A
BC8			A				A
BC9			A				A
Óculo			A				A
HT1		A	A			A	A
HT2	A				A		
CF1			A				A
CF2			A				A
FT1							
FT2							
BT1			A				A
BT2			A				A
BT3			A				A
BT4			A				A
BT5			A				A
HF		A	A			A	A
Evento(seg)	0	7200	14400	36000	86400	93600	
Horno Cp	140 Kw	140 Kw	70 Kw	0	140 Kw	140 Kw	70 Kw
Horno Cg	280 Kw	280 Kw	140 Kw	0	280 Kw	280 Kw	140 Kw
Horno T	140 Kw	140 Kw	70 Kw	0	140 Kw	140 Kw	70 Kw
	560 Kw	560 Kw	280 Kw	0	560 Kw	560 Kw	280 Kw

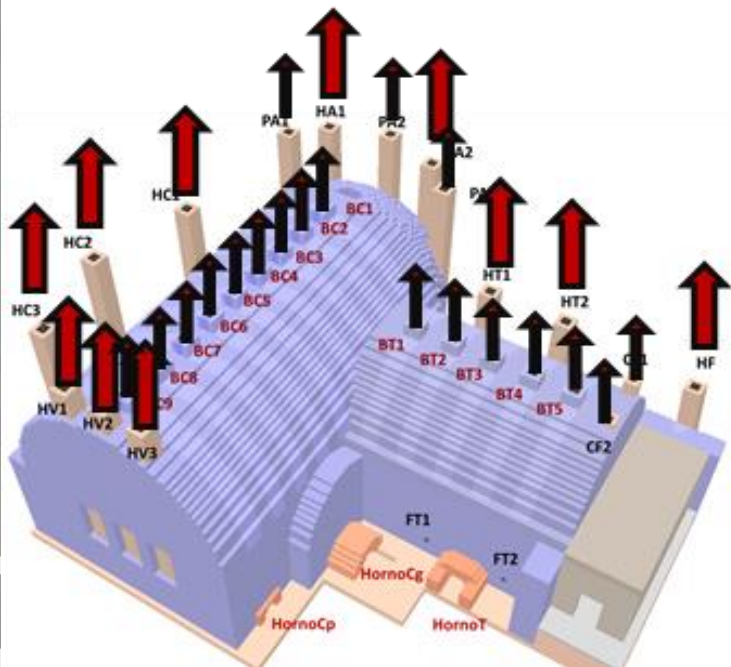


Fig. 9. Protocolo de apertura en tiempo de cada conducto de ventilación.

Las temperaturas en el suelo del caldarium oscilan entre 40 y 45 °C. Las temperaturas del tepidarium oscilan entre 34 y 38 °C. Las temperaturas del frigidarium oscilan entre los 28 y 32 °C.

Los huecos de comunicación entre salas eran esenciales en el funcionamiento, tanto los situados al nivel de los hypocaustum como los situados entre las distintas salas.

El óculo central del caldarium cumplía una función concreta: la renovación del aire del interior de la sala (evacuación de aire caliente y entrada de aire frío).

El hueco existente en el ábside del caldarium, no tenía una función térmica específica. Solo servía para el mantenimiento y enfriamiento de la instalación.

La demanda energética estimada necesita unos 120 kg de madera por hora en los tres hornos en la fase de encendido y 60 kg en la fase de mantenimiento.

El praefurnium fue diseñado con un arco pequeño que produce una entrada forzada de aire, logrando una combustión óptima de los gases por el “efecto horno” (aumento de la radiación sobre el combustible). Así se conseguía una combustión casi perfecta que generaba muy poco humo, un aprovechamiento más eficiente del combustible, ahorrando madera y apenas producía residuos volátiles (hollín).

REFERENCIAS

- Dufour, A. (2006). Simulación mediante la mecánica computacional de fluidos de escenarios de incendios reales en recintos industriales. Proyecto final de carrera. E. Técnica Superior de Ingenieros de Barcelona. UPC.
- Escrivà Torres, V., & Vidal Ferrús Xavier. (1995). La partida de Mura (Lliria, Valencia): un conjunto monumental de época Flavia. SAGVNTVM. Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia, (26), 231–239. Retrieved from <https://ojs.uv.es/index.php/saguntum/article/view/2154>.
- Esteban Chaparria, J., Moliner Cantos, E. (2015). “Estudios de arquitectura romana. Las termas mayores de Mura, Lliria (Valencia)”, Papeles del Partal, 7. Academia del Partal.
- Tormo Esteve, S (2017). Las termas mayores de -Mura, en Lliria (Valencia). Estudio aplicado a la funcionalidad hídrica y térmica de los complejos termales romanos. (Tesis no publicada). Universitat Politècnica de València.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.