



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA,  
EDIFICACIÓN, URBANÍSTICA Y PAISAJE



**TESIS DOCTORAL**

LAS TERMAS MAYORES DE MURA EN LLÍRIA (VALENCIA).  
ESTUDIO APLICADO A LA FUNCIONALIDAD HÍDRICA Y TÉRMICA  
DE LOS COMPLEJOS TERMALES ROMANOS

**AUTOR**

SANTIAGO TORMO ESTEVE

**DIRECTORES**

JAVIER BENLLOCH MARCO

JULIÁN ESTEBAN CHAPAPRÍA

RAFAEL ROYO PASTOR

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2017



La construcción romana se ha convertido en referente de todas las épocas por la grandiosidad, belleza, resistencia, proporción, funcionalidad, ingenio, y un largo etcétera de calificativos que la sitúan por delante de muchas de civilizaciones como ejemplo de arquitectura perfecta. Entre estos conceptos más destacables figura la funcionalidad de todas sus construcciones. Vitruvio ya enumera entre sus tres principios *utilitas*, un concepto muy claro enfocado a aunar conjuntamente con la belleza y la resistencia, los conceptos fundamentales de la arquitectura.

*Balnea, termae, spa* son los diversos nombres con los que definir a un mismo tipo de edificios, destinados al cuidado personal y la higiene corporal desde un punto de vista racional y natural, sin dejar de lado aspectos como las relaciones sociales, costumbres, juegos y deporte, constituyéndose como grandes centros de ocio y de encuentro social.

En estos edificios se aplican los conceptos más avanzados en ingeniería térmica e hidráulica para conseguir desarrollar uno de los programas arquitectónicos más completos en cuanto a técnica, composición y resistencia en un mismo edificio. Son muchos los factores que influyen en el correcto funcionamiento de una terma y es por eso que la tecnología de hoy en día se puede aplicar para comprobar mediante simulaciones los protocolos establecidos hace más de 2000 años, y demostrar el gran conocimiento físico que se tenía del uso del agua, del fuego, del aire y de la construcción.

Las termas romanas de Mura, localizadas en la ciudad romana de Edeta (Llíria), 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. Estas termas formarían parte de uno de los complejos termales, en el que se utilizaría el agua y el fuego con gran destreza, desarrollando un espacio con unas termas dobles con palestra porticada siguiendo los modelos pompeyanos. 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 hace tres años y dirigida por el Dr. arquitecto Julián Esteban Chapapría, cuyo objetivo era consolidar los restos arquitectónicos del edificio y adecuarlos para una puesta en valor digna, acorde con la envergadura del yacimiento.

La calidad y cantidad de los restos arquitectónicos aparecidos, unidos a la metodología y conocimientos de los arqueólogos Vicent Escrivà, Xavier Vidal y Carmen Martínez, han podido determinar facetas constructivas que ayudan a entender su construcción y sobre todo el sistema funcional propio de la instalación.

Esta tesis recopila los conocimientos del mundo termal romano, los datos de las excavaciones e intervenciones realizadas en el edificio y los unifica mediante simulaciones computacionales para poder comprender los protocolos de funcionamiento óptimos de una de las construcciones más tecnológicas que existen en nuestra historia, las termas mayores de Mura.



La construcció romana s'ha convertit en referent de totes les èpoques per la grandiositat, bellesa, resistència, proporció, funcionalitat, enginy, i un llarg etcètera de qualificatius que la situen per davant de moltes de civilitzacions com a exemple d'arquitectura perfecta. Entre aquests conceptes més destacables hi ha la funcionalitat de totes les seues construccions. Vitruvi ja enumera entre els seus tres principis *utilitas*, un concepte molt clar enfocat a unir conjuntament amb la bellesa i la resistència, els conceptes fonamentals de l'arquitectura.

*Balnea, termae, spa* són els diversos noms per definir un mateix tipus d'edificis, destinats a la cura personal i la higiene corporal des d'un punt de vista racional i natural, sense deixar de banda aspectes com les relacions socials, costums, jocs i esport, constituint-se com grans centres d'oci i de trobada social.

En aquests edificis s'apliquen els conceptes més avançats en enginyeria tèrmica i hidràulica per aconseguir desenvolupar un dels programes arquitectònics més complets pel que fa a tècnica, composició i resistència en un mateix edifici. Són molts els factors que influeixen en el correcte funcionament d'una terma i per això amb la tecnologia d'avui en dia es pot comprovar mitjançant simulacions els protocols establerts fa més de 2000 anys, i demostrar el gran coneixement físic que es tenia de l'ús de l'aigua, del foc, de l'aire i de la construcció.

Les termes romanes de Mura, localitzades a la ciutat romana d'Edeta (Llíria), conjuntament amb el santuari oracular veí i les diverses dependències com tavernes, hospicis i botigues, constitueixen un dels exemples més interessants de l'arquitectura termal de la Hispania Citerior. Aquestes termes formarien part d'un dels complexos termals, en el qual s'utilitzaria l'aigua i el foc amb gran destresa, desenvolupant un espai amb unes termes dobles amb palestra porticada seguint els models pompeians. Els materials i sistemes constructius s'han pogut estudiar amb detall gràcies a les diferents campanyes d'excavacions arqueològiques iniciades el 1971 i sobretot a l'última intervenció arquitectònica finalitzada fa tres anys i dirigida pel Dr. arquitecte Julián Esteban Chaparría, l'objectiu era consolidar les restes arquitectòniques de l'edifici i adequar-les per a una posada en valor digna, d'acord amb l'envergadura del jaciment.

La qualitat i quantitat de les restes arquitectòniques aparegudes, unides a la metodologia i els coneixements dels arqueòlegs Vicent Escrivà, Xavier Vidal i Carmen Martínez, han pogut determinar facetes constructives que ajuden a entendre la seua construcció i sobretot el sistema funcional propi de la instal·lació.

Aquesta tesi recull els coneixements del món termal romà, les dades de les excavacions i intervencions realitzades a l'edifici i els unifica mitjançant simulacions computacionals per poder comprendre els protocols de funcionament òptims d'una de les construccions més tecnològiques que existeixen en la nostra història, les termes majors de Mura.



## ABSTRACT

Roman construction has become a reference of all ages for the grandeur, beauty, resistance, proportion, functionality, ingenuity, and many qualifications that put it ahead of many civilizations as an example of perfect architecture. The functionality of all its constructions is among the most remarkable concepts. Vitruvio already enumerated "*utilitas*" among his three principles, a very clear concept focused on joining together with beauty and resistance, the fundamental concepts of architecture.

"*Balnea, termae, spa*" are the different names with which to define the same type of buildings, destined for personal care and bodily hygiene from a rational and natural point of view, without neglecting aspects such as social relations, customs, games and sport, constituting themselves as great centers of leisure and social encounter.

The most advanced concepts in thermal and hydraulic engineering are applied in these buildings in order to develop one of the most complete architectural programs in terms of technique, composition and resistance in the same building. There are many factors that influence the correct functioning of a bath and that is why today's technology can be applied to simulate the protocols established over 2000 years ago and demonstrate the great physical knowledge that was had in the use of water, fire, air and construction.

The Roman baths of Mura, located in the Roman city of *Edeta* (Llíria), together with the neighboring oracular sanctuary and various dependencies such as taverns, hospices and shops, are one of the most interesting examples of the thermal architecture of *Hispania Citerior*. These thermal baths would be part of one of the thermal complexes where water and fire would be used with great dexterity, developing a space with a double spa with porticoed fore following the Pompeian models. Construction materials and systems have been studied in detail thanks to the various archaeological excavation campaigns begun in 1971 and, above all, to the last architectural intervention completed three years ago and directed by the architect Julián Esteban Chapapría, whose objective was to consolidate the architectural remains of the building and adapt them for a worthy value according to the size of the site.

The quality and quantity of the architectural remains, combined with the methodology and knowledge of the archaeologists Vicent Escrivà, Xavier Vidal and Carmen Martínez, have been able to determine constructive facets that help to understand its construction and especially the functional system of the installation.

This thesis compiles the knowledge of the Roman thermal world, the data of the excavations and interventions carried out in the building and unifies them by means of computational simulations in order to understand the optimal operating protocols of one of the most technological constructions in our history, the major baths of Mura.



1. ESTADO DE LA CUESTIÓN .....	19
1.1. INTRODUCCIÓN .....	19
1.2. EL CONTEXTO DEL ASPECTO TERMAL .....	25
1.3. FUENTES DOCUMENTALES .....	32
1.4. TIPOLOGÍA ROMANA DE LAS TERMAS.....	48
1.4.1. Origen.....	48
1.4.2. Funcionamiento de las termas.....	50
1.4.3. Tipologías.....	56
1.4.4. Gestión.....	61
1.4.5. Implantación urbana de las termas .....	63
1.5. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES .....	65
1.5.1. Piedra.....	69
1.5.2. Ladrillo .....	71
1.5.3. Metal .....	84
1.5.4. Vidrio.....	86
1.5.5. Madera.....	88
2. EL CONTEXTO DE EDETA Y LAS TERMAS .....	91
2.1. CONTEXTO FÍSICO.....	91
2.1.1. Descripción del medio.....	91
2.1.2. Análisis geológico .....	93
2.1.3. Análisis hidrológico.....	97
2.2. CONTEXTO HISTÓRICO Y URBANO .....	101
2.2.1. La Edeta romana .....	101
2.2.2. Construcciones privadas.....	110
2.2.3. Construcciones públicas.....	119
2.2.4. El declive de Edeta.....	130
2.2.5. Marco Cornelio Nigrino.....	135
2.3. SANTUARIO Y TERMAS DE MURA.....	141
2.3.1. Termas mayores .....	154
2.3.2. Termas menores .....	196
2.3.3. Materiales cerámicos .....	199

2.3.4.	Materiales pétreos.....	219
2.3.5.	Estabilidad estructural .....	235
3.	EL SISTEMA HÍDRICO.....	243
3.1.	ESTRUCTURA DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA.....	245
3.1.1.	Captación y canalización de agua hasta la ciudad .....	247
3.1.2.	Distribución de agua en la ciudad .....	248
3.2.	ESTRUCTURA DE UNA RED DE SANEAMIENTO DE AGUA.....	251
3.2.1.	Saneamiento de terrenos.....	251
3.2.2.	Saneamiento de ciudades.....	252
3.3.	CAPTACIONES DE AGUA.....	254
3.3.1.	Manantiales.....	254
3.3.2.	Pozos.....	255
3.3.3.	Galerías de infiltración .....	255
3.3.4.	Ríos y lagos .....	255
3.3.5.	Presas y embalses.....	256
3.3.6.	Cisternas o aljibes.....	256
3.3.7.	Depósitos de agua.....	257
3.4.	CONDUCCIONES DE AGUA .....	259
3.4.1.	Conducciones libres.....	259
3.4.2.	Sifones.....	264
3.4.3.	Conducciones cerradas y de agua urbanas .....	265
3.5.	ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA CIUDAD DE EDETA.....	267
3.5.1.	Punto de captación.....	267
3.5.2.	<i>AQVAEDVCTVS</i> DE LA CIUDAD ROMANA DE EDETA .....	277
3.6.	DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LAS TERMAS MAYORES DE MURA .....	286
3.6.1.	Acometida.....	286
3.6.2.	Distribución .....	290
3.7.	EVACUACIÓN DEL AGUA EN LAS TERMAS MAYORES DE MURA .....	295
3.7.1.	Red exterior.....	295
3.7.2.	Red interior .....	296
4.	EL SISTEMA TÉRMICO.....	305
4.1	CONCEPTOS BÁSICOS DE CALOR, TRANSMISIÓN DE CALOR Y TERMODINÁMICA.....	305

4.2	APLICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR .....	318
4.2.1.	Conducción.....	318
4.2.2	Convección.....	327
4.2.3.	Radiación.....	333
4.2.4	Cálculo y modelización del proceso de enfriamiento y calentamiento .....	339
4.2.5	Caracterización térmica de tres tipos de piedra .....	350
5.	FUNCIONALIDAD DE LAS TERMAS .....	363
5.1	ANÁLISIS INFORMÁTICO DEL MODELO TÉRMICO .....	363
5.2	MODELO TRIDIMENSIONAL ADOPTADO.....	368
5.2.1	Modelo previo .....	368
5.2.2	Modelo final.....	374
5.3.	HIPÓTESIS DE CÁLCULO .....	387
	Hipótesis 1. Simulaciones Edeta205 y Edeta206.....	388
	Hipótesis 2. Simulaciones Edeta207, Edeta208 y Edeta209 .....	398
	Hipótesis 3. Simulación Edeta16.....	408
	Hipótesis 4. Simulación Edeta200.....	414
	Hipótesis 5. Simulación Edeta203.....	420
	Hipótesis 6. Simulación Edeta201 y Edeta202.....	425
	Hipótesis 7. Simulaciones Edeta202d y Edeta202e3.....	432
	Hipótesis 8. Simulaciones Edeta202, Edeta205 y Edeta208 .....	439
	Hipótesis 9. Simulaciones Edeta202d y Edeta202e.....	443
	Hipótesis 10. Simulaciones Edeta4b y Edeta4c .....	448
	Hipótesis 11. Simulaciones Edeta500 y Edeta202 .....	455
	Hipótesis 12. Simulaciones Edeta51 y Edeta52 .....	463
	Hipótesis 13. Simulación Edeta202fb .....	466
6.	CONCLUSIONES FINALES .....	475
7.	INVESTIGACIONES FUTURAS.....	481
8.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	483
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>483</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>493</b>

### **Agradecimientos**



La metodología seguida en la presente investigación ha seguido el siguiente orden.

En una **primera fase** se han analizado las fuentes documentales que existen sobre los conocimientos de la arquitectura termal en el mundo romano. Las investigaciones realizadas son muchas, de gran importancia y con diferente escala. Pero todas ellas carecen de la singularidad y particularidad que un edificio como el de Lliria posee.

En la **segunda fase** se particularizó con estas singularidades gracias a los trabajos desarrollados por los arqueólogos Vicent Escrivà, Xavier Vidal y Carmen Martínez en las distintas campañas de excavaciones y sobre todo con la información generada durante el proyecto de intervención realizado por la Conselleria de Cultura y dirigido por el Dr. arquitecto Julián Esteban Chapapría.

Durante estas dos fases se visitaron varios edificios termales en estados de conservación diferentes y en varios países. Bath en Inglaterra; Roma, Ostia Antica, Herculano y Pompeya en Italia, Miróbriga y Coninbriga en Portugal. En España se visitaron Cesaraugusta, Cartagena, Segóbriga, Tarraco, Baelo Claudia, Clunia, Baños de Montemayor, Caldes de Montbui, Sant Boi de Llobregat, Águilas, Málaga, Itálica, Gijón, Ourense, Elche, Calpe, y Valencia. De todas ellas se tomaron datos referentes a los sistemas de calefacción y de la distribución hídrica fundamentalmente.

En la **tercera fase**, la más laboriosa por el procesado informático, se realizaron más de un centenar de simulaciones con todas las variables posibles para poder encontrar varias hipótesis con las que elaborar el protocolo de funcionamiento.

El documento se estructura en cinco capítulos.

El **primero** recoge toda la información existente que hace referencia a los aspectos termales en la época romana. Se hace un vaciado de las fuentes documentales que han estudiado en profundidad esta clase de edificios, de forma que queda estipulado el estado de la cuestión arte (*state of art*), definido con toda la documentación encontrada y consultada. A esta información documental, hay que añadir las visitas a los diferentes centros, donde las entrevistas con los responsables de las instalaciones han podido determinar datos importantes a la hora de su inclusión en este apartado, como lo sucedido en Pompeya con Grete Stefani, directora de las excavaciones de la Soprintendenza Archeologica di Pompei, o en la escuela de arquitectura de Pescara con el profesor Carlos Cacciavillani. En este apartado se ha intentado remarcar aquellos aspectos constructivos más importantes de este tipo de instalaciones dejando un poco al margen la catalogación y descripción para facetas que tengan que ver más con aspectos arqueológicos o históricos.

El **segundo** capítulo pone en contexto al edificio de estudio. Lo sitúa en la ciudad, en la historia, en la política y la sociedad que existe en el momento de su construcción y en los personajes importantes vinculados con el edificio. También se realiza una descripción exhaustiva de cada una de las dependencias, de los sistemas constructivos y de los materiales utilizados, especialmente aquellos que tengan relación con los aspectos termales e hídricos del edificio.

El **tercer** capítulo describe el sistema relacionado con el agua. Se hace un repaso de la tipología y casuística de los elementos que definen el sistema hídrico en un complejo termal, desde su captación hasta la distribución para su utilización. Por último, se describe cada elemento existente en las termas mayores y que tiene su relación con los conceptos de captación, transporte y distribución del agua para su uso en las termas mayores de Edeta.

El **cuarto** capítulo es paralelo al anterior pero aplicado a los temas que afectan al sistema termal. Es decir, los referentes a la zona donde se produce el calor y de cómo se distribuye por las salas. Posteriormente se completa este estudio con el experimento realizado con un resto de la *suspensura* original (pavimento de la sala caliente), para tratar de averiguar los coeficientes de transmisión de calor, conductividades y comportamientos térmicos de dicho material. Con estos datos se pudo contrastar los resultados teóricos con los experimentales teniendo unos resultados más que favorables. Por último, se pensó aprovechar dicho experimento y realizar una simulación computacional de la probeta para poder cerciorarse de que el sistema cumplía todo el ciclo científico, es decir, cálculo teórico, prueba experimental y simulación virtual. Con este resultado satisfactorio se pudo afirmar que la teoría-experimento real y simulación virtual alcanzaban valores bastante similares, validando el proceso de simulación que se iba a realizar de todo el conjunto.

El **quinto** capítulo se estructura a través de las diferentes hipótesis que describen las simulaciones realizadas en el edificio. Hay que indicar que la complejidad de cálculo del mismo (principalmente por el tamaño del edificio) limitó muchas de las hipótesis que se pretendían estudiar y que, como estudio iniciado, no se trata de cerrar con esta tesis, sino que se pretende continuar con mayor ajuste a cada una de las situaciones que se podían generar para que la terma tuviera el óptimo y eficaz funcionamiento en la época romana.

Las conclusiones que se presentan se establecen como punto de partida que determina varias de las hipótesis lanzadas y que no es más que una invitación a participar, una vez el modelo ya está creado y generado, en la discusión y reflexión de su funcionamiento.

El hecho de llegar a este punto en mi vida profesional y académica, establece una meta con la que siempre puede soñar cualquier persona y lucha por ella.

Desde que finalicé mis estudios de Master en Técnicas de Intervención en el Patrimonio Arquitectónico, allá por el año 1993, siempre tuve presente que el agua y la construcción marcarían mi vida profesional. De hecho, el trabajo final que presenté ante el tribunal de aquel máster versaba sobre la arquitectura del agua en la huerta de Xàtiva.

Más tarde, tuve la gran oportunidad de trabajar en el equipo que dirigía D. Julián Esteban en la restauración de los baños del Almirante de Valencia, y tras varios trabajos relacionados con este “líquido elemento” entre los que se encuentran la nevera de Barx o los baños árabes del Raval de Xàtiva, llegó la culminación profesional con la participación en la intervención planteada en las termas de Mura en Lliria, también dirigidas por D. Julián Esteban.

En este proyecto pude completar mi admiración por el tipo de arquitectura funcional que tiene al agua como línea vertebradora y justificada en la técnica constructiva que emplea. Pero en este caso, el agua se quedaba en un aspecto secundario pasando el protagonismo a otro de los cuatro elementos de la antigüedad: el fuego. Por aquel entonces (2011), siendo profesor asociado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas desde el año 2000, tenía la intención de realizar mi tesis doctoral sobre alguno de los trabajos profesionales que más me hubieran motivado profesional y personalmente y en los que hubiera participado activamente. No era mi intención realizar un estudio monográfico, de recopilación de datos, de documentos, sino un estudio funcional en el que se viera la aplicación de la arquitectura y sobre todo la construcción para un fin concreto. Con todos estos condicionantes y ante la ocasión que se presentaba, poder participar como parte de un gran equipo multidisciplinar en el conjunto termal de Mura, decidí optar por este edificio como punto de partida en mi investigación.

Muchas han sido las cuestiones a salvar, más en el sentido formal que en el técnico, y, por tanto, este esfuerzo merece que se presente en un documento elaborado, que finaliza una investigación y que abre varias líneas de trabajo a seguir, ya que el tema es muy amplio, abarca muchas decisiones que pueden ser discutidas y otras en las que se ha invertido mucho tiempo y que no han dado su resultado esperado.

La decisión de entregar el documento presente, obedece a una reflexión y análisis de todo el trabajo realizado hasta la fecha para llegar a completar al máximo el objetivo principal de conocer una de las obras más admirables desde el punto de vista tecnológico que consiguen, día a día, aumentar mi motivación...



## OBJETIVOS

Los objetivos generales de la presente tesis se centran en los aspectos hídricos y térmicos que afectan tanto a los sistemas constructivos y materiales como al funcionamiento de los mismos centrados en las termas mayores de Mura en Lliria.

- Analizar el sistema constructivo de las construcciones hidráulicas que tenía el complejo y estimar los recorridos de suministro y de evacuación del agua a partir de los restos arquitectónicos del propio yacimiento.
- Analizar el sistema que permitía calefactar las distintas estancias de las termas mayores identificando los sistemas constructivos y los materiales con los que se construyen.
- Elaborar un patrón virtual mediante programas informáticos de la transmisión térmica y su conductividad, estipulando tiempos, espesores, materiales y propiedades que permitían adaptarse al uso proyectado.
- Comprobar mediante simulaciones informáticas las distintas hipótesis y poder corroborar las conclusiones que determinen su funcionalidad, atendiendo a las horas de encendido de los hornos y las temperaturas alcanzadas en cada uno de ellos.



# 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La civilización romana dominó cultural y militarmente los vastos territorios del occidente europeo, el oriente asiático y el norte de África entre el siglo II a. C., fecha de inicio de su expansión más allá de las fronteras de la península itálica, y el siglo V d.C.<sup>1</sup>, cuando se produjo el definitivo desmembramiento del imperio occidental.

El pueblo romano era una sociedad ambiciosa que sometió a los territorios conquistados a sus costumbres y formas de pensamiento. Pero también supo recoger y aceptar, con la mayor naturalidad, las tradiciones, conocimientos y formas de vida de los pueblos conquistados que consideró útiles, un fenómeno que ha sido conocido como “romanización”. Por este motivo, hoy percibimos la cultura romana de una forma muy unitaria, aunque dada su flexibilidad cultural con respecto a los pueblos sometidos, es posible detectar sin gran esfuerzo numerosos localismos en los territorios que estuvieron bajo su dominio.

La antigua Roma fue una sociedad cosmopolita, bastante avanzada en algunos aspectos. Su particular forma de vida, plagada de actividades complejas vinculadas al control administrativo, el confort, el ocio y las relaciones sociales, planteó numerosas exigencias a los ingenieros y constructores encargados de suministrar las infraestructuras necesarias para hacerlo posible.

Las grandes ciudades romanas permitieron el control político del imperio y también hicieron posible esta ambiciosa forma de vida. Para lograrlo, debieron dotarse de una estructura muy jerarquizada en los aspectos humanos, muy rígida desde el punto de vista legal y muy flexible desde la perspectiva religiosa, para organizar las tareas y funciones necesarias en la gestión de tan vasto imperio.

Podemos diferenciar claramente tres periodos en la cronología de la Roma Clásica. El primero, conocido como periodo **Monárquico**, se extendió entre los siglos VIII a. C. y V a. C. y fue la base sobre la cual se empezaban a crear y desarrollar las instituciones políticas que posteriormente tendrían tanta importancia. Aun así, durante estos años se mantuvo todavía un carácter y una dinámica bastante cercana a las ciudades etruscas que iba conquistando y anexionando para formar el gran imperio.

Desde el siglo V a. C. hasta el año 27 a. C., se extiende el periodo denominado **Republicano**. En estos años, es donde se produce el inicio de la expansión y asimilación de las culturas vecinas, sobre todo la griega, de la cual hereda gran parte de los conceptos

---

<sup>1</sup> Roma se fundó en el año 753 a. C., y no llegó hasta el año 218 a. C. a la península ibérica.

artísticos y culturales y se puede llegar a decir que nace el concepto que se ha etiquetado como “arquitectura romana” (Marín 1998, 8)<sup>2</sup> bien definido por Marco Vitruvio Polión en su *De architectura* en el tránsito del siglo I a. C. al siglo I d.C.

El tercer periodo, denominado **Imperial**, se extiende hasta la caída en 453 del último emperador, Flavio Rómulo Augusto. En esta etapa lograron la máxima expansión del imperio, que abarcaba un amplísimo territorio que iba desde el Támesis hasta el Nilo y desde la península ibérica hasta Turquía, con la consiguiente dificultad de gobierno y de organización territorial que ello suponía.

Durante el gobierno del primer emperador Augusto, se puso fin a las guerras civiles, iniciándose un periodo de paz, seguridad y prosperidad, con una gran aportación del mundo cultural en todas sus facetas artísticas. A este periodo se le conoce como *pax romana*. Se divide el territorio en regiones, denominadas senatoriales, cuando estaban bajo la administración del estado, o provinciales, cuando lo estaban bajo la administración del emperador. Es durante estos años cuando se produce la gran evolución de la arquitectura romana como resultado del análisis, la reinterpretación y la innovación técnica a partir de la integración de los ricos y variados conocimientos heredados de los pueblos conquistados.

En el plano artístico, y en particular en el arquitectónico, es difícil aislar la herencia recibida de cada una de las civilizaciones conquistadas, pero parece que la cultura etrusca en primer lugar, y más tarde la cultura helenística, fueron su gran referente cultural a la hora de instaurar su novedosa y arriesgada concepción arquitectónica.

En el ámbito tecnológico, los romanos establecieron dos grandes hitos en la historia de la construcción: la introducción de técnicas constructivas muy sofisticadas y el empleo de nuevos materiales. A estos aspectos, cabría unir su capacidad para dirigir grandes empresas arquitectónicas empleando mano de obra escasamente especializada.

La herencia del mundo griego centrada en el empleo de la piedra caliza, los mármoles y morteros de cal aérea, conjuntamente con el uso del adobe procedente de las civilizaciones del creciente fértil, constituyeron la base de su repertorio constructivo. Dicho repertorio se caracterizó por la definición de un sistema constructivo híbrido, a medio camino entre la cantería y la albañilería, capaz de combinar de manera extremadamente hábil las ventajas de cada uno de los materiales disponibles.

---

<sup>2</sup> R. MARÍN (1998). *La construcción en la antigua Roma*. Editorial UPV. Valencia.



El gran hallazgo y el principal valedor de su repertorio técnico fue el *opus caementicium*, un mortero de cal aérea adicionado con puzolanas, que dotaba de propiedades hidráulicas al producto resultante, permitiendo, además, su aligeramiento y acomodamiento a cualquier formato constructivo, con independencia de su escala. Este material, en combinación con el ladrillo cocido en sus numerosas variantes (Vitruvio 1985, 45)<sup>3</sup>, posibilitó la producción de formas arquitectónicas impensables para muchos constructores de siglos posteriores.

El *opus caementicium* contribuyó decisivamente a impulsar la revolución estructural que hizo posible el éxito de sus grandes empresas arquitectónicas. Los egipcios y mesopotámicos emplearon formas de arco primitivas y los etruscos lograron construir grandes espacios abovedados. Pero los romanos fueron los primeros en combinar todas estas técnicas y materiales para explotar plenamente su increíble potencial (Trachtenberg 1990, 136)<sup>4</sup>.

El uso de los sistemas abovedados constituyó otro aspecto de vital importancia en su desarrollo tecnológico. Estos recursos estructurales aumentaban las posibilidades de generar mayores espacios, más amplios, luminosos y con una adecuada ventilación que, además, permitían adaptarse a las limitaciones orográficas del terreno.

Se han identificado cuatro posibles factores que pudieron contribuir a desarrollar esta nueva filosofía constructiva (Castro 1995)<sup>5</sup>:

- 1.- Las necesidades políticas. La organización compleja del territorio necesitaba de grandes infraestructuras y de la organización de las capitales de provincias y de ciudades menores equipadas con los servicios para el uso y disfrute de sus ciudadanos, según la población e importancia logística.
- 2.- La industrialización y universalización de los procesos constructivos, para unificar y sistematizar tanto las tipologías como las técnicas. De esta forma se creaban especialistas en cada oficio y se disponían tratados y leyes que eran seguidos en todo el imperio generando una lectura constructiva muy identificadora del mismo.

---

<sup>3</sup> Para esta investigación se ha empleado la traducción de *Los Diez Libros De Arquitectura* de Vitruvio publicada por Agustín Blánquez en 1985. Este considera simultáneamente varias traducciones al castellano del texto. Entre ellas se encuentra la de José Ortiz y Sanz (1787).

<sup>4</sup> M. TRACHTENBERG, I. HYMAN (1990). *Arquitectura. De la prehistoria a la postmodernidad*. Ed. Akal.

<sup>5</sup> A. CASTRO VILLALBA (1995). *Historia de la construcción arquitectónica*. Barcelona: UPC.

3.- Las innovaciones tecnológicas. Gracias a la aparición del *opus caementicium*, cuyo secreto radica en la utilización del polvo puzolánico que reacciona espontáneamente con la cal aérea mejorando su capacidad de fraguado y endurecimiento en ambientes sin presencia de oxígeno. Además, el material resultante era mucho más resistente, endurecía más rápido y podía emplearse en todo tipo de construcciones, incluidas las hidráulicas (Roso 2015, 37)<sup>6</sup>.

4.- El empleo de un nuevo concepto estructural basado en la utilización de arcos, bóvedas y cúpulas que permitía una distribución más racional, espaciosa, eficiente y óptima en las grandes construcciones y que determinaron en gran parte la arquitectura romana que conocemos hoy en día. Es importante indicar que estos avances fueron obtenidos gracias a la asimilación de las técnicas de trazado, nivelación, dibujo y representación extraordinariamente precisas, heredadas por civilizaciones anteriores y perfeccionadas hasta obtener una precisión capaz de establecer la excelencia en la construcción de las grandes obras (Adam 1996, 9)<sup>7</sup>.

La combinación de los aspectos anteriores dio como resultado una arquitectura completamente nueva, capaz de resolver **funcional** y monumentalmente espacios de gran complejidad a los que, además, dotaba de un envidiable orden y confort. El cambio con respecto a las civilizaciones egipcia y griega radica en que el arquitecto romano dio al espacio interior la misma importancia que a la estructura que lo hizo posible.

---

<sup>6</sup> R. ROSO (2015). *Lliçons de calçs i ciments*. Valencia: Editorial UPV. El descubrimiento parece ser casual, pero repercutió enormemente en la forma y evolución de la construcción romana. Hoy en día los numerosos estudios otorgan a este tipo de arcilla la creación de los silicatos presentes en la masa endurecida y que permiten su fraguado y endurecimiento sin contacto con el ambiente que complete su ciclo de carbonatación. La denominada "reacción puzolánica" es principalmente la que se da entre el óxido de silicio o sílice (SiO<sub>2</sub>), la cal o hidróxido de Calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>, y el agua, para producir silicatos de calcio hidratados en una proporción determinada y que no supera el 20 %.

<sup>7</sup> J. P. ADAM (1996). *La construcción romana: materiales y técnicas*. Leon: Editorial de los oficios. El autor explica que tanto los útiles de trabajo como son las legonas, paletas, reglas, escuadras y los sistemas de medida y nivelación topográfica como la groma, la dioptría o el corobate, han sido la gran aportación tecnológica del mundo romano a la construcción y a la arquitectura hasta la aparición de los sistemas electrónicos.

La segunda característica que cabe destacar es la **firmeza** con la que se resolvieron estos espacios. Estos nuevos y versátiles materiales permitieron adaptar sus sofisticados edificios a cada territorio, sin variar sustancialmente la fórmula constructiva, ladrillos, morteros, piedras, ni los sistemas estructurales basados en el empleo de arcos, bóvedas y cúpulas (Marín 1998, 10).

La tercera característica que cabe destacar en la arquitectura romana son los aspectos relacionados con la **estética** y la decoración de sus espacios. Los romanos emplearon los órdenes griegos, pero asignándoles un valor más decorativo y de revestimiento para esconder en muchas ocasiones el núcleo resistente de la fábrica. Al mismo tiempo se empleó una amplia gama de recursos decorativos que convierten a veces sus edificios en espacios excesivamente extravagantes.



Ilustración 2. Reconstrucción de los baños de Diocleciano en Roma. Vista desde el *tepidarium* hacia el *frigidarium*. Autor: Edmond Jean-Baptiste Paulin.

## 1.2 EL CONTEXTO DEL ASPECTO TERMAL

Una vez concluida esta breve aproximación a la cultura y especiales características de la arquitectura romana, estamos en mejores condiciones de abordar las particularidades de la arquitectura termal, prestando atención a sus características tipológicas, y las principales referencias documentales desde un punto de vista socio-histórico. En último término, se tratará también su evolución funcional y sus rasgos tecnológicos: materiales constituyentes y sistemas constructivos.

La construcción de una terma se enfrentaba a numerosos condicionantes que afectaban a su estabilidad estructural y a la organización de su funcionamiento, entre otros. Es importante destacar que estos edificios estaban sometidos también a grandes exigencias sociales. Los investigadores que se han aproximado al estudio de las termas romanas desde diferentes e incluso muy dispares perspectivas (ingeniería, arquitectura, arqueología e incluso la filología o la sociología) coinciden en definir estas construcciones como las más sorprendentes de la producción romana (Nielsen 1990, 7)<sup>8</sup>.

La temprana implantación y el exitoso desarrollo de los baños en la península itálica estuvieron fuertemente influidos por la cultura griega. Es fácil identificar las zonas de Italia en las que se ha manifestado con un mayor grado el inicio de estos cambios, que han marcado el punto de desarrollo hacia una nueva costumbre no extendida previamente en el mundo etrusco (Nielsen 1990, 7).

Con la rápida romanización de los territorios conquistados, esta costumbre gozó enseguida de un gran arraigo en las provincias conquistadas. Los conjuntos termales se encuentran casi siempre entre los primeros edificios que se construían en las colonias. En un primer momento quedaban siempre ligados a las construcciones privadas, pero pronto empezaron a promoverse construcciones públicas en edificios expresamente destinados para tal fin. La presencia de las termas en numerosas poblaciones, y el amplio tamaño de las mismas, evidenciaba también el éxito de su colonización y marcaba un hito en el urbanismo de la nueva población.

Durante el inicio de la época republicana, las autoridades municipales romanas eran las encargadas de planificar, construir y gestionar los edificios termales, debido a la importancia que tenía este tipo de servicios para aumentar la popularidad de los mandatarios entre los ciudadanos. La clase alta también lo manifestaba, pero por propia iniciativa. Uno de los aspectos que determinaba el prestigio del ciudadano romano poderoso y adinerado era la construcción de grandes espacios destinados al baño con

---

<sup>8</sup> I. NIELSEN (1990). *Thermae et balnea. The Architecture and Cultural History of Roman Public Baths*. Dinamarca: Aarhus University Press.

gran lujo de detalles y una decoración exquisita, coloridos revestimientos y esculturas realizadas con piedras naturales de exóticos lugares. De esta forma, se manifestaba la opulencia que este tipo de composiciones podían conseguir (Fuentes 2000, 144)<sup>9</sup>.

Las termas públicas se complementaban por numerosos baños de propiedad privada que estaban también abiertos y dirigidos a todo el público. Debe tenerse en cuenta que la construcción de este tipo de edificios suponía una inversión económica bastante considerable con respecto a la construcción del resto de edificaciones. En parte, debido a la necesidad de dotar al edificio de un complejo sistema termal y de conectarlo con los servicios urbanísticos existentes, como el agua y el alcantarillado, y en otra, por su gasto de combustible y mantenimiento. Era usual que los edificios públicos estuvieran subvencionados por el emperador, sobre todo las grandes termas, aunque podrían existir pequeñas ayudas para permitir la construcción y sobre todo la gestión de los edificios públicos de menor envergadura. Hay que indicar que, en la mayoría del territorio del imperio, la necesidad de termas estaba cubierta hacia la primera mitad del siglo III d. C., y el principal problema derivaba de la gestión y de su mantenimiento, dadas las necesidades que dicha infraestructura requiere para estar en uso cada día.

La sociedad romana, conforme avanzaba en su crecimiento en la época imperial, empezó a manifestar su necesidad de nuevas tipologías para el ocio y la diversión, donde las termas pasaron a ser una parte integral de la vida urbana, conviviendo con numerosos hechos cotidianos que podían realizarse en el interior de estos edificios mientras se estaba tomando el baño. Esta actividad acabó por convertirse en una rutina diaria para muchos de los habitantes de las ciudades del imperio romano. De hecho, durante el imperio, la gente se bañaba con frecuencia, casi todos los días, normalmente por la tarde, tras el trabajo y antes de la cena. Pero esto fue cambiando y muchos de los baños acabaron transformándose en verdaderos centros culturales y de ocio, donde la gente podía llegar a pasar gran parte del día y donde podrían encontrar toda clase de servicios que pudieran imaginar. Cualquier tipo de intereses (ya fueran música, arte, deporte o incluso literatura) podían cultivarse allí.

Las termas mantenían en esencia la función higiénica original, aunque muchos historiadores cuestionan esta función y le otorgan además las etiquetas de lugares donde era muy probable coger alguna infección o enfermedad<sup>10</sup>. Era el espacio donde los

---

<sup>9</sup> A. FUENTES DOMÍNGUEZ (2000). "Las termas en la antigüedad tardía: Reconversión, amortización, desaparición. El caso hispano", en C. Fernández Ochoa (ed.): *Actas del Simposium de termas romanas en el Occidente del Imperio*. Gijón 2000.

<sup>10</sup> La historiadora Laura Díaz, en su blog <https://arraonaromana.blogspot.com.es/2016/08/las-antihigienicas-termas-romanas.html> describe esta situación de forma muy sucinta pero muy aclaradora. La

romanos conseguían quitarse la suciedad corporal generada por la actividad física en contacto con el sudor. Era muy normal que antes de darse un baño existiese el ritual de realizar un ejercicio físico en la palestra. De esta forma, conseguían sudar con mayor profusión para luego proceder a la limpieza corporal mediante la aplicación de ungüentos y utensilios específicos que facilitaban el proceso.

Esta funcionalidad tan marcada desde un punto de vista estrictamente higiénico se mantuvo incluso después de que el cristianismo quedase establecido como la religión oficial del Imperio romano. En la época de los primeros cristianos, los padres de la iglesia no prohibían el baño, ya que ellos mismos también se bañaban, aunque conforme avanzó la crisis y decadencia del imperio algunos aspectos cambiaron y muchos de ellos fueron bautizados como “las catedrales de la carne”. No es extraño pensar que la desnudez del cuerpo podría generar, como mínimo, pensamientos y deseos en algunos de los usuarios, teniendo por costumbre limitar y vetar un comportamiento que no fuera el estrictamente destinado a la higiene. En muchos lugares la posible interferencia de sexos se solucionaba dividiendo las salas destinadas a hombres y mujeres, compartiendo en ocasiones los sistemas de calefacción y de aporte de agua (Vitruvio 1985, V, 9, 130).

Los edificios termales representan uno de los alardes constructivos tecnológicamente más avanzados de todos los desarrollados por los romanos. El primer testimonio de un proyecto a gran escala para la construcción de una terma tuvo lugar en el año 25 a. C. En ese momento, Augusto promovió los primeros grandes baños comunales de la capital romana, aunque por esas fechas, los ciudadanos romanos ya llevaban más de 200 años disfrutando de pequeños balnearios diseñados principalmente para el disfrute familiar y vecinal. La popularidad alcanzada por estos pequeños establecimientos impulsó a Agripa a promover una colosal casa de baños en una zona céntrica de Roma<sup>11</sup>. La grandiosa construcción competía en tamaño con cualquier edificio público existente y dotaba de gran popularidad a su constructor y al promotor, de quien recibía su nombre. Es fácil suponer que la construcción de este edificio marcó el inicio de un cambio sustancial en la comprensión del complejo de baño, que a partir de entonces se convirtió en una obra arquitectónica de enorme envergadura destinada al ocio, a la que, además, se le implementaba una instalación termal.

---

limpieza en estos lugares debía de seguir un protocolo que hasta el momento no ha sido investigado. Consulta 03/2017.

<sup>11</sup> Son pocos los restos que se conservan en pie de este edificio termal, pero puede definirse una extensión de 100 × 120 metros siguiendo las tipologías republicanas que se construyeron con posterioridad como las termas Stabianas de Pompeya.

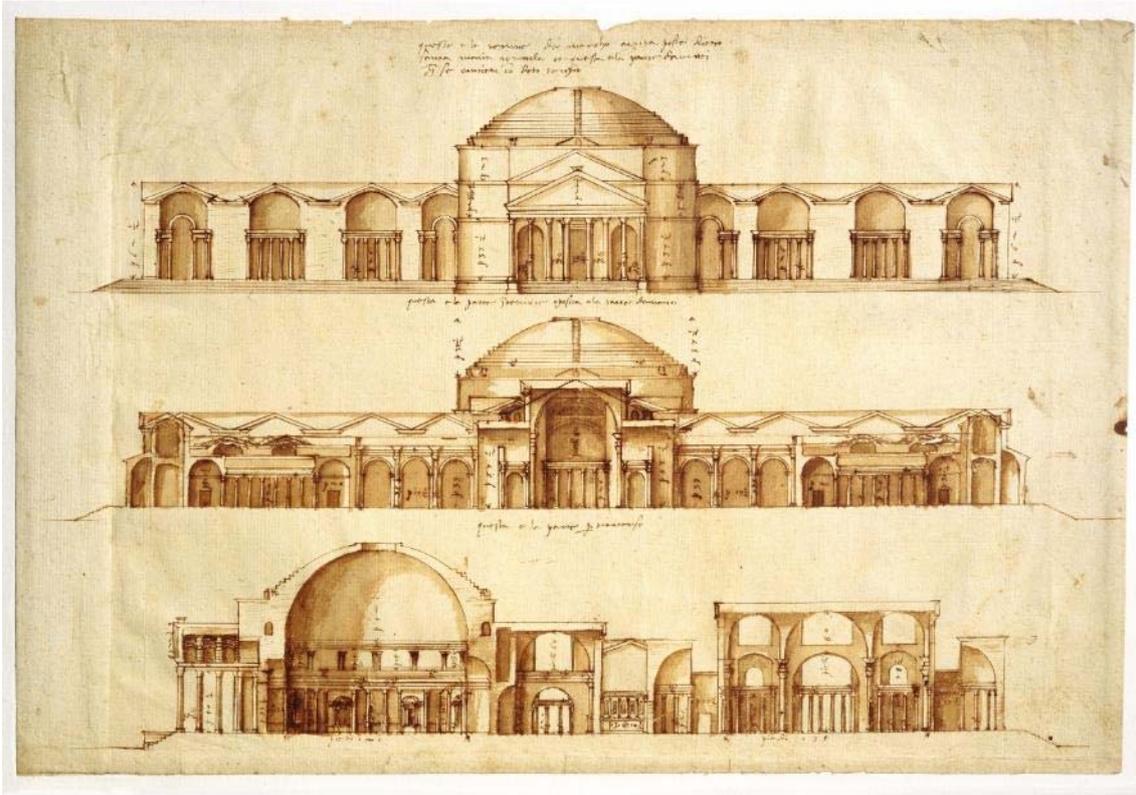


Ilustración 3. Hipótesis de reconstrucción del conjunto de los baños de Agripa en Roma. (c. 1550). Autor: Andrea Palladio (1508-1580), RIBA Library Drawings Collection.

A partir de ese instante, las termas se convirtieron en uno de los proyectos principales de todos los emperadores. Cada uno de ellos trató de mejorar a su predecesor, haciendo su edificio más espacioso, más espléndido y más popular. Llevaban el nombre del emperador que los había construido y los más importantes fueron los de Nerón en el año 65, de Tito en el 81, de Domiciano en el 95, de Cómodo en el 185, Caracalla en el 217, de Diocleciano en el 305 y de Constantino en el 315 d. C. Para garantizar el prestigio del emperador, los precios por utilizar las termas eran ridículamente bajos o incluso gratuitos y se debían subsanar la mayoría de los gastos con subvenciones del erario público. Los emperadores, por supuesto, gozaban de sus propios baños privados<sup>12</sup> y de algunos de ellos se dice que los utilizaban hasta siete u ocho veces al día.

Algunas de las termas fueron lo suficientemente grandes como para dar cabida a miles de personas. La de Diocleciano, por ejemplo, tenía capacidad para albergar a 6.000 bañistas. Esto solo pudo ser posible gracias a importantes avances tecnológicos como el reparto de agua desde su abastecimiento hasta la distribución por todas las salas, y sobre todo por el sistema termal que dota de calor al edificio y que analizaremos con

<sup>12</sup> Es fácil pensar que los ciudadanos de las clases más altas, senadores e incluso el emperador no se mezclaba con el resto de la población en un acto considerado tan íntimo.

posterioridad. Este sistema mejoró la forma de calefacción griega gracias a la incorporación de un espacio por debajo del suelo y paredes de forma que permitiese circular aire caliente, y que aumentaba la temperatura de la sala por donde circulaba. Con este sistema se obtenían unas temperaturas tan altas, que incluso los bañistas debían proteger las plantas de sus pies con un calzado especial para evitar quemárselas.



Ilustración 4. Reconstrucción del *frigidarium* en las termas de Diocleciano. Autor: Paulin (1885).

La rutina comenzaba con una extenuante sesión de ejercicios en la palestra para aquellos ciudadanos que se lo podían permitir, o bien de una sudorosa sesión en el *caldarium* o en el *sudatio* para aquellos que no podían o no querían<sup>13</sup>. Posteriormente, el bañista se introducía en el *tepidarium* donde se relajaba mientras era ungido con aceites. A continuación, se pasaba al *caldarium* donde se tomaba un baño caliente, y finalmente al *frigidarium* donde el baño era con agua fría. Después de finalizar la sesión, los bañistas se retiraban a las zonas exteriores donde hacían vida social. Este circuito tiene muchas variaciones en función del diseño de la terma, aunque en síntesis recoge el principio de pasar primero por dependencias calientes y luego por las frías, repitiendo el recorrido a gusto del usuario. Los patricios y ciudadanos más adinerados se hacían acompañar por un esclavo y llevaban sus propios enseres para el baño: pinceles, frascos con aceites y utensilios para frotarse la espalda e incluso para depilarse. Los más pobres sustituían los aceites por harina de lentejas y se frotaban la espalda unos a otros.

---

<sup>13</sup> No todos los romanos estaban conformes con los cambios que se estaban produciendo en la forma de tomar el baño. Séneca, el filósofo y estadista, opinaba que "la sudoración debe ser resultado de un gran esfuerzo físico y no de una improductiva sesión en una sala caliente".

La desaparición gradual de los baños no se produjo ni por razones políticas ni religiosas, sino más bien porque estos establecimientos presentaban grandes gastos derivados de los consumos de agua y combustible y por problemas derivados del mantenimiento y conservación para su óptimo funcionamiento.

En comparación con otros grandes edificios coetáneos como los anfiteatros, basílicas o templos, las termas eran usadas a diario, lo que generaba un desgaste considerable que aumentaba por la presencia continua de agua y de fuego sobre sus materiales. Es probable presuponer que un nulo mantenimiento o una falta de recursos podía evidenciar la existencia de problemas económicos derivados del gasto que podría establecerse para mantenerlos abiertos al público. El declive de la vida urbana se manifestó fuertemente en los baños, primero en el oeste y después en el este del imperio, lo que supuso la reutilización de estos espacios como basílicas, necrópolis y, sobre todo, como canteras de materiales para las nuevas edificaciones (Mar 2000, 20)<sup>14</sup>.



Ilustración 5. Reconstrucción virtual de las termas de Diocleciano. Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo. Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. Producción CAPWARE dirigida por M. Capasso.

---

<sup>14</sup> R. MAR (2000). "Las termas imperiales", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 15-21. Gijón: VTP Editorial.



Ilustración 6. Acuarela de Viollet-le-Duc, en la que realiza un análisis de la estructura de una therma romana para los estudiantes de la École spéciale d'architecture (1867).

### 1.3. FUENTES DOCUMENTALES

Las fuentes documentales que hacen referencia a los complejos termales romanos son muy variadas y proporcionan visiones muy diversas que van desde aspectos sociales y lúdicos, hasta los análisis con un perfil mucho más tecnológico. La investigación realizada ha intentado recopilar, en la medida de lo posible, todas aquellas reseñas documentales que hacen referencia a los sistemas térmicos e hídricos de las termas. Es evidente que en más de una ocasión estas investigaciones han debido extenderse también a otros aspectos complementarios cuyo conocimiento resultaba necesario. En las próximas líneas se hará un breve resumen de las fuentes consultadas, determinando qué valiosas contribuciones aportan al estudio de las termas romanas.

Resulta inevitable hablar en primer lugar de aquellos textos referidos a la construcción y arquitectura de la antigua Roma y, por tanto, hay que empezar por mencionar a Vitruvio<sup>15</sup>. En su obra *Los diez libros de Arquitectura*, hace un recorrido sobre los numerosos aspectos de la construcción de materiales, técnicas y todas las distintas tipologías y aspectos relacionados con la arquitectura<sup>16</sup>. Estas aportaciones, que marcaron un hito en la historia de la construcción, sirvieron de base a numerosos autores renacentistas (Alberti, Serlio, Palladio, Vignola, etc.), que las aprovecharon para la elaboración de sus tratados, ampliando y adaptando muchos aspectos fundamentales ya adelantados por Vitruvio.

Cada uno de sus diez libros o capítulos se dedica a una cuestión diferente: la elección de los terrenos, materiales y técnicas constructivas, tipologías edificatorias, maquinaria, órdenes compositivas, revestimientos, decoraciones, ingeniería hídrica, cosmografía, etc. Las instrucciones relativas al diseño y construcción de los baños y sus edificios anexos, como las palestras y gimnasios, se encuentran recogidas en el Libro V, capítulo XI, dedicado a los edificios civiles (Vitruvio 1985, 130-132).

Al inicio de este capítulo, indica las condiciones que se debían seguir a la hora de elegir el lugar donde construirlos. Estos deberían ser lo más cálidos posibles y orientados hacia el sur o poniente, sobre todo las salas calientes. Las recomendaciones están basadas en climas que tienen inviernos bastantes fríos, según interpreta Ortiz y Sanz. Las salas

---

<sup>15</sup> Bernardo Galvani, en su traducción de 1584 le define como “el legislador de la Arquitectura”.

<sup>16</sup> Desde mi modesta y humilde vocación de docente en la escuela de Arquitectura, me gustaría hacer una consideración sobre la mayor parte de las materias que trata Vitruvio, y que en la actualidad no se consideran y no merecen estar en los actuales planes de estudio de los futuros arquitectos, pero que en aquella época, el abarcar dicho conocimiento en estas artes (dibujo, geometría, aritmética, óptica, filosofía, música, medicina, jurisprudencia y astronomía) eran conocimientos que el autor estimaba necesario que debía de poseer un buen arquitecto.

calientes deberán de recibir "la luz del occidente hibernal" (Ortiz y Sanz 1787, 128), es decir, que se deberían encontrar orientados entre el sur y el oeste, pero más al oeste que al sur (Arenales de la Cruz 2009, 183).

Posteriormente describe un factor muy importante a la hora de pensar en la funcionalidad térmica. Indica que el pavimento del hipocausto debería estar inclinado hacia la boca del horno, forzando de esta manera la ascensión del aire caliente desde el horno hasta el fondo de la sala. Sobre los hornos sitúa tres calderas que son las que calefactan el agua formando un circuito que va de la más fría a la más caliente y siempre con el mismo caudal de paso entre ellas. También añade que cada piscina (*alveus*) situada en el *caldarium* o *tepidarium* debería disponer de un pequeño horno individual.

Con respecto al diseño de las salas, recomienda que se dimensione el tamaño en función de la concurrencia que se prevea, manteniendo unas proporciones en las que su ancho sea un tercio menor que su longitud. También indica que las piscinas deben estar situadas en las paredes, directamente debajo de las ventanas para que su volumen no arroje sombras ni oscurezca así la estancia.

Respecto a las salas calientes recomienda que se hagan bóvedas dobles para permitir la evacuación del vapor con mayor efectividad y evitar que deteriore la madera que forma las cubiertas<sup>17</sup>. Las salas de vapor (*laconicum* y *sudatorium*) recomienda que sean tan altas como anchas, sin contar la bóveda que las cubre. También habla de que estas salas deben estar comunicadas con el *tepidarium* e indica que es mejor que sean redondeadas, de manera que el fuego, instalado en el medio de la sala, caliente por igual y ascienda por la cúpula semiesférica hasta el óculo de la misma.

El final del capítulo lo dedica a uno de los conceptos más importantes desde el punto de vista funcional de los baños. Aquí trata sobre la ventilación, que se realiza a través del óculo central situado en medio de las bóvedas. Propone un mecanismo de poleas que permita abrir o cerrar una tapa de bronce para regular la temperatura del interior de la sala.

En el siguiente capítulo, describe las salas que tendrá el pórtico de la palestra, entre las que sitúa las salas de entrenamiento con armas, aulas de enseñanza, salas de servicio y los *xistus* (gimnasios cubiertos), describiendo estos espacios como un diseño heredado de la época griega y a los que los romanos no le dan tanta importancia debido a su escasa utilización.

---

<sup>17</sup> Es interesante destacar este punto ya que explica la forma de cubrir estos edificios mediante estructuras de madera.

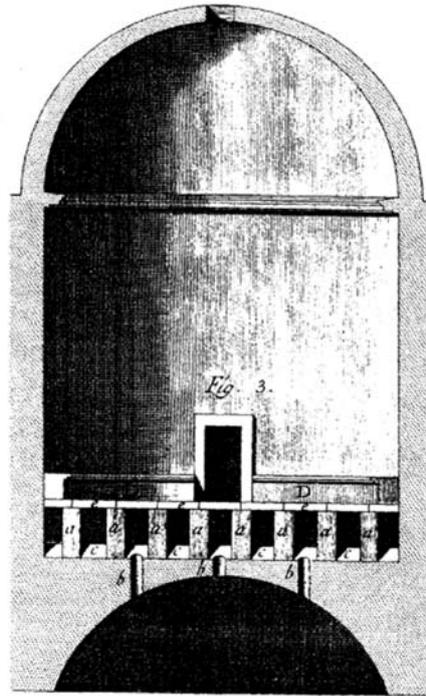


Ilustración 7. Sección de un sudatorio según Vitruvio por Ortiz y Sanz (1787, lámina XLV), donde se observan las dimensiones de la sala, así como el óculo en la cúpula para poder regular la temperatura.

Desde este tratado firmado por Vitruvio en el siglo I d. C. hasta el siglo XV no parece que vuelvan a realizarse aportaciones escritas sobre los complejos termales. Las escasas manifestaciones escritas van ligadas a su conservación, mantenimiento y uso de las propias instalaciones<sup>18</sup>. La sociedad medieval occidental tenía una cultura del baño y la higiene muy distinta. Pero no así la oriental y particularmente la islámica. De esta última cabe destacar el baño musulmán o *hammam* que todos los investigadores definen como una pervivencia de la tradición romana-bizantina, que favoreció su permanencia hasta nuestros días, aunque dotándole de un carácter más religioso y menos profano que en el periodo clásico. Además, los baños islámicos solían ser de menor tamaño, más austeros en su decoración y lujo y con una distribución que obedecía a modelos axiales o angulares, siendo el recorrido lineal retrógrado el usado más frecuentemente, aprovechando en muchas ocasiones los diseños derivados de las termas romanas (Pavon 1990). Pero, no obstante, mantuvo en esencia el sistema termal, formado por las tres salas: fría, tibia y caliente, además de la sala de vestuario y el horno, que seguía calefactando las salas mediante un sistema constructivo similar al romano.

<sup>18</sup> Durante estos siglos muchos de los edificios termales fueron destruidos o reutilizados como parte de otros quedando únicamente los de mayor tamaño como testimonio de una época.

A principios del siglo XV vuelven a aparecer varios tratados en los que se habla de termas, en parte debido a la voluntad humanista de retomar las costumbres, ideas, composiciones y pensamientos que diseñan un nuevo renacer de la cultura clásica. Se dedicaba gran parte del estudio a analizar los restos de esta arquitectura desde un punto de vista gráfico y descriptivo, aunque sin aportar nada nuevo a lo descrito anteriormente por Vitruvio. Leon Battista Alberti, Sebastiano Serlio, Andrea Palladio y Giacomo Barozio da Vignola son los tratadistas más renombrados de este periodo. En el caso de Vignola poco habrá que decir, ya que no habla de termas ni baños en su texto, que está dedicado por completo a los cinco órdenes de la arquitectura.

Leon Battista Alberti, en el capítulo X del libro VIII de su tratado *De re aedificatoria* habla sobre las termas romanas. Prácticamente resume lo ya referido por Vitruvio en su tratado, aunque añade un par de pinceladas y opiniones personales respecto a sus indagaciones. Dentro de su discurso, Alberti hace un recorrido general por las distintas salas y pasillos que componen una terma, articulando todas ellas desde la palestra, que define como un patio al descubierto. También menciona la existencia de un *solarium*, describiéndolo como una bancada colocada en distintas posiciones para poder aprovechar a cada hora del día la luz directa del sol según su posición. Además, comenta en las apenas dos páginas en las que habla de termas, su desconocimiento sobre el carácter público o privado de estos baños, ya que las evidencias que encuentra en los restos son dispares y no se atreve a generalizar (Alberti 1582, 265-266).

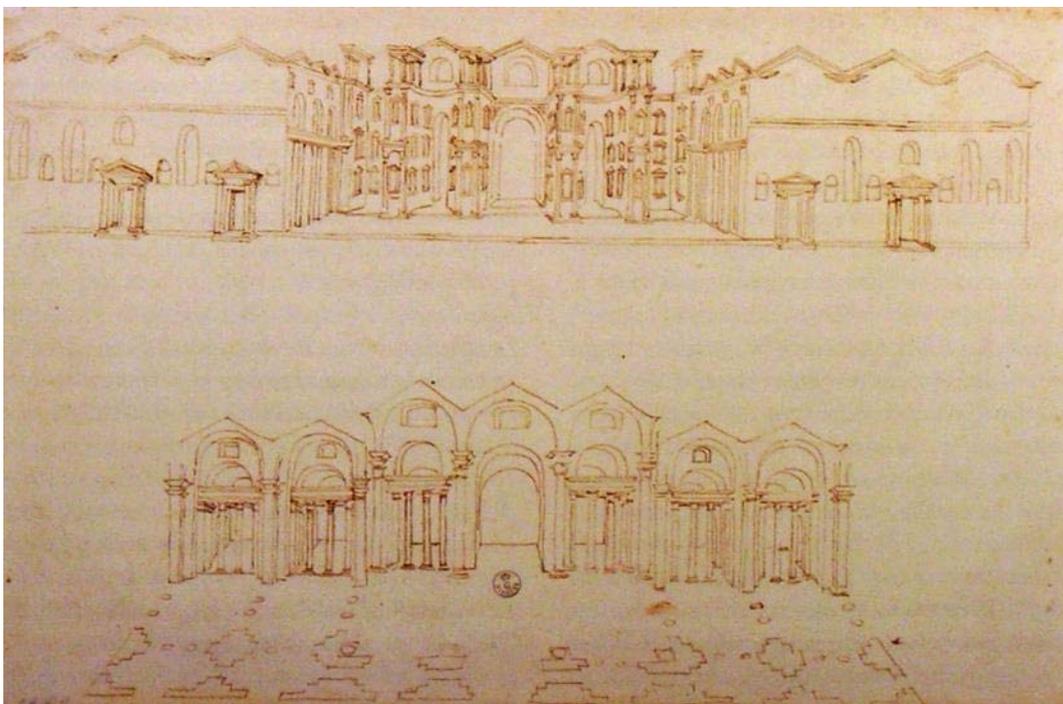


Ilustración 8. Dibujos de L. B. Alberti sobre las termas de Diocleciano. *La Roma di Leon Battista Alberti*, de Max Schich.

Sebastiano Serlio, en su Libro III dedicado a “las antigüedades”, aborda el análisis de las distintas obras arquitectónicas que los romanos dejaron tras de sí: templos, teatros, arcos, anfiteatros, etc. Respecto a las termas, solo referencia tres edificios: las termas Antoninas (hoy conocidas como termas de Caracalla), las de Tito y las de Diocleciano. Es de destacar las plantas que dibuja de todas ellas, mostrando sus preferencias por las Termas Antoninas, no solo por su tamaño sino también por su decoración, a pesar de que las Termas de Diocleciano son de una escala mucho mayor.

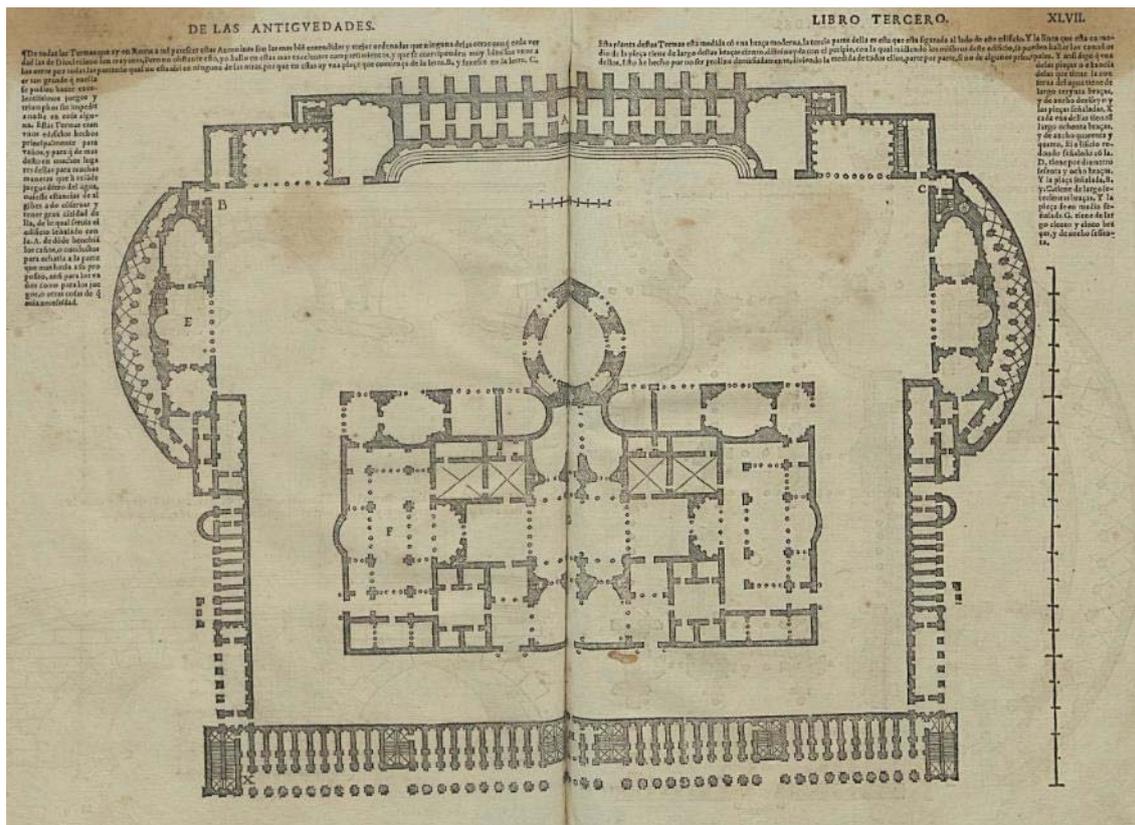


Ilustración 9. Grabado XLVI-XLVII del libro III de S. Serlio, referente a las termas Antoninas. Extraído de la biblioteca digital de la Facultad da Letras da Lisboa. Página web: [http://bibliotecadigital.fl.ul.pt/ULFL036898/ULFL036898\\_item1/P69.html](http://bibliotecadigital.fl.ul.pt/ULFL036898/ULFL036898_item1/P69.html). Consulta 02/2017.

En *Los cuatro libros de Arquitectura* de Andrea Palladio, este autor realiza una profunda revisión de la obra de Vitruvio. Explica las técnicas constructivas de los muros compuestos, habla con profundidad de los órdenes y de los diseños de casas y palacios, de los templos, puentes y muchas tipologías que amplían básicamente los aspectos ya tratados por sus antecesores. En el capítulo XXI del libro III se refiere a las palestras y *xustos* (o *xistos*) griegos tal y como los comenta Vitruvio en su tratado, aunque añade que estos pórticos estaban pavimentados con mosaicos. Al final de este capítulo idealiza

esquemáticamente la organización funcional de una terma en la que sitúa simétricamente las salas y dependencias con respecto al eje que forma la palestra. No hace ninguna alusión a los aspectos técnicos y constructivos de su funcionamiento.

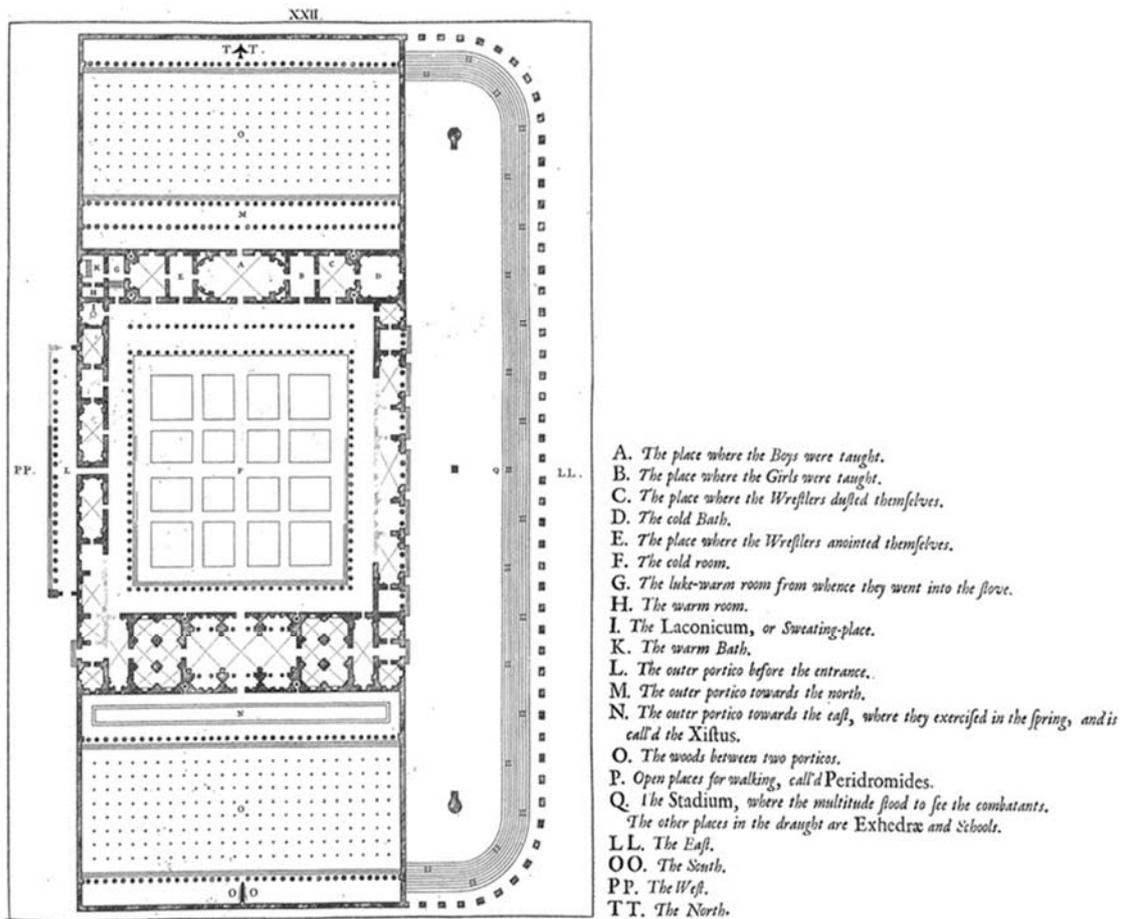


Ilustración 10. Esquema en planta de unas termas según la concepción de Palladio por Jones (1715).

Del siglo XVIII se conoce la obra del arquitecto Charles Cameron, un británico que retomó la obra de Palladio y la amplió en profundidad con estudios de distintos edificios de la ciudad de Roma. En su libro *The baths of the Romans explained and illustrated* se centra con mayor detalle en las decoraciones y ornamentos, sobre todo en los mosaicos, pero es curiosa la descripción y dibujos que realiza sobre los distintos elementos e instrumentos que se usaban en las termas, como las bañeras y un asiento con su correspondiente hueco de la letrina.

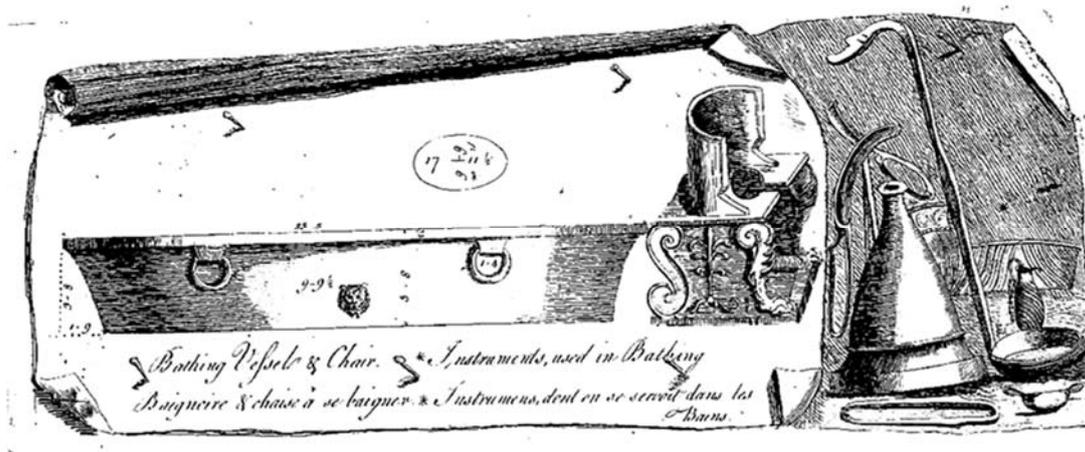


Ilustración 11. Labrum y letrina, en Cameron (1772).

En el capítulo introductorio Cameron retoma la descripción vitruviana del gimnasio. Lo dibuja mediante un esquema en planta, donde se puede observar una gran palestra, con su doble pórtico orientado a norte (Cameron 1772), indicando las distintas salas termales con la orientación al sur, como Vitruvio explica en su tratado, para que la inercia térmica de los muros, que han estado recibiendo el sol a lo largo del día, mantengan el calor y eviten el enfriamiento rápido de estas salas.

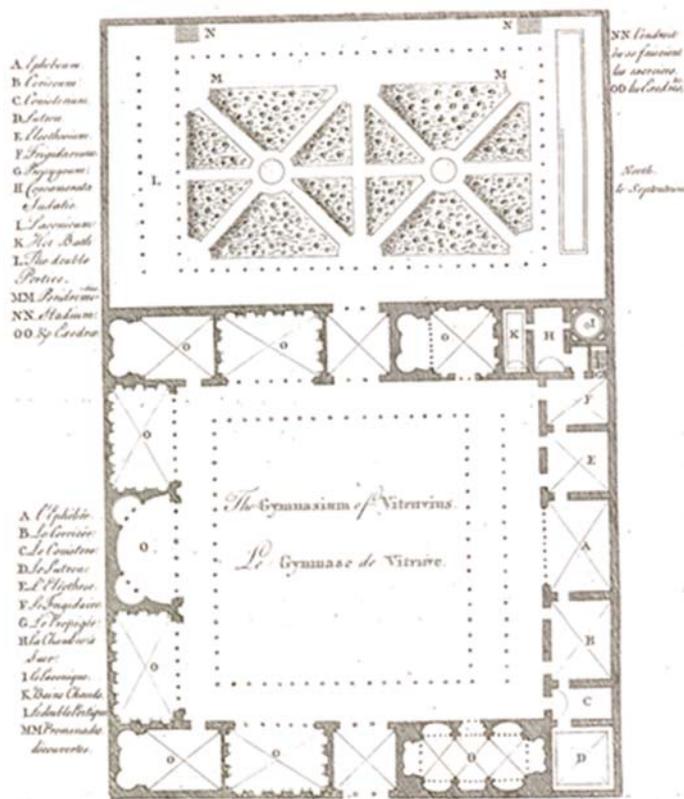


Ilustración 12. Plano de termas tipo según Cameron (1772, 22).

Tras ese capítulo, explica las distintas funciones de cada una de las salas de los baños siguiendo los textos de Lucio, que él mismo transcribe y traduce. También analiza los textos de autores como Galeno, Seneca, Celsus, etc., creando una imagen general de lo que representaban las termas para la sociedad romana de época imperial. A partir de aquí, el texto de Cameron se vuelve meramente descriptivo, pues empieza a analizar distintas termas de la ciudad de Roma. Las termas que describe Cameron son las de Agripa, las de Nerón, Tito, Trajano, Caracalla, Diocleciano y Constantino (en ese orden), dedicando entre dos y siete páginas a cada una de ellas. Cameron las ilustra y ubica en un plano y describe los restos que estudia de cada una de ellas, añadiendo los detalles decorativos y un plano en planta.

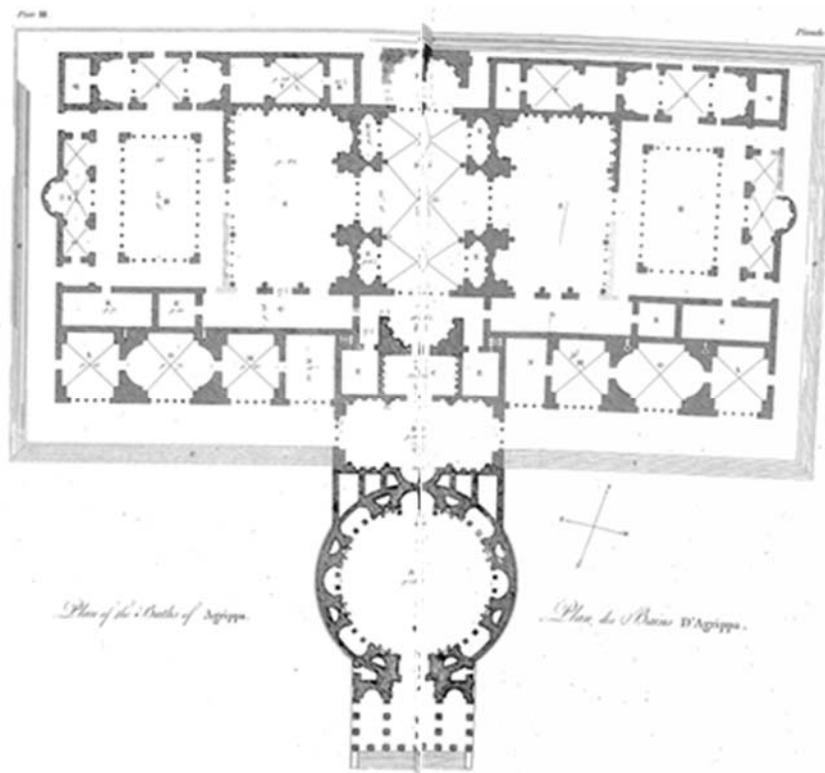


Ilustración 13. Lámina III de Cámeron (1772) donde se muestran las termas de Agripa, el primer ejemplo de su obra.

También en el siglo XVIII tenemos la obra de Giovanni Battista Piranesi, un arquitecto veneciano que es conocido por la realidad y precisión de sus dibujos y grabados. Trasladado en 1740 a Roma, comenzó a dibujar las antiguas ruinas del Imperio romano que tanto le llamaban la atención, aportando así, mediante la técnica del aguafuerte, un levantamiento de los restos arquitectónicos que por aquel entonces existían y se estaban descubriendo. Es muy importante recalcar la minuciosidad de sus trabajos debido a la enseñanza que recibió por parte de su tío y por los estudios de construcción e ingeniería que empezó a cursar (Ficacci 2011, 19). Sin embargo, no indica ninguna descripción

sobre la tecnología de los sistemas termales, ni sobre la ubicación de salas ni tipologías o cualquier otra nota que ayude a entender con mayor detalle los dibujos realizados. Entre estos grabados, podemos observar ilustraciones de las termas de Caracalla, Tito, Diocleciano, Maximiliano, Salustio, Antonino, entre otras.



Ilustración 14. Terma de Diocleciano según Piranesi.

En el siglo XIX, Sir Banister F. Fletcher publicó junto a su padre *A History of Architecture on the Comparative Method for the Student, Craftsman, and Amateur*, donde analiza y clasifica los distintos estilos según periodos y las conexiones, influencias o factores que han llevado a que cada gusto artístico adquiriera sus características definitorias como son sus condiciones geográficas, geológicas, climáticas, religiosas, sociopolíticas e históricas<sup>19</sup>. En el capítulo de la arquitectura romana, al igual que hace para el resto de épocas, comienza analizando las influencias que ha recibido de la civilización griega y la adaptación y evolución que realizan con los arcos, bóvedas y cúpulas. Amplía los datos al describir la abundancia del mármol como material recurrente en las construcciones, además del ladrillo y el hormigón. Habla de diversas tipologías, como son los templos, foros, basílicas, teatros y anfiteatros, arcos monumentales, acueductos, villas y obviamente también de las termas. Respecto a estas últimas, comenta que es una de las tipologías más características de la civilización romana, tanto como lo son los anfiteatros y que probablemente procedan de la evolución de los gimnasios griegos. Respecto a los usos, confunde ligeramente las funciones de las salas: dice que en el *tepidarium* se realizaba un baño de agua caliente (cuando en realidad en esa sala había aguas templadas) y comenta un orden de baño incorrecto, según lo que los demás autores defienden. También comenta que se realizaban actividades deportivas, se daban charlas y conferencias, y menciona la oportunidad de socialización que suponía asistir a

<sup>19</sup> Esto lo refleja el autor en su *tree of architecture* (árbol de la arquitectura).

las termas. Repasa en detalle los puntos clave para el funcionamiento termal realizando secciones de muros y suelos.

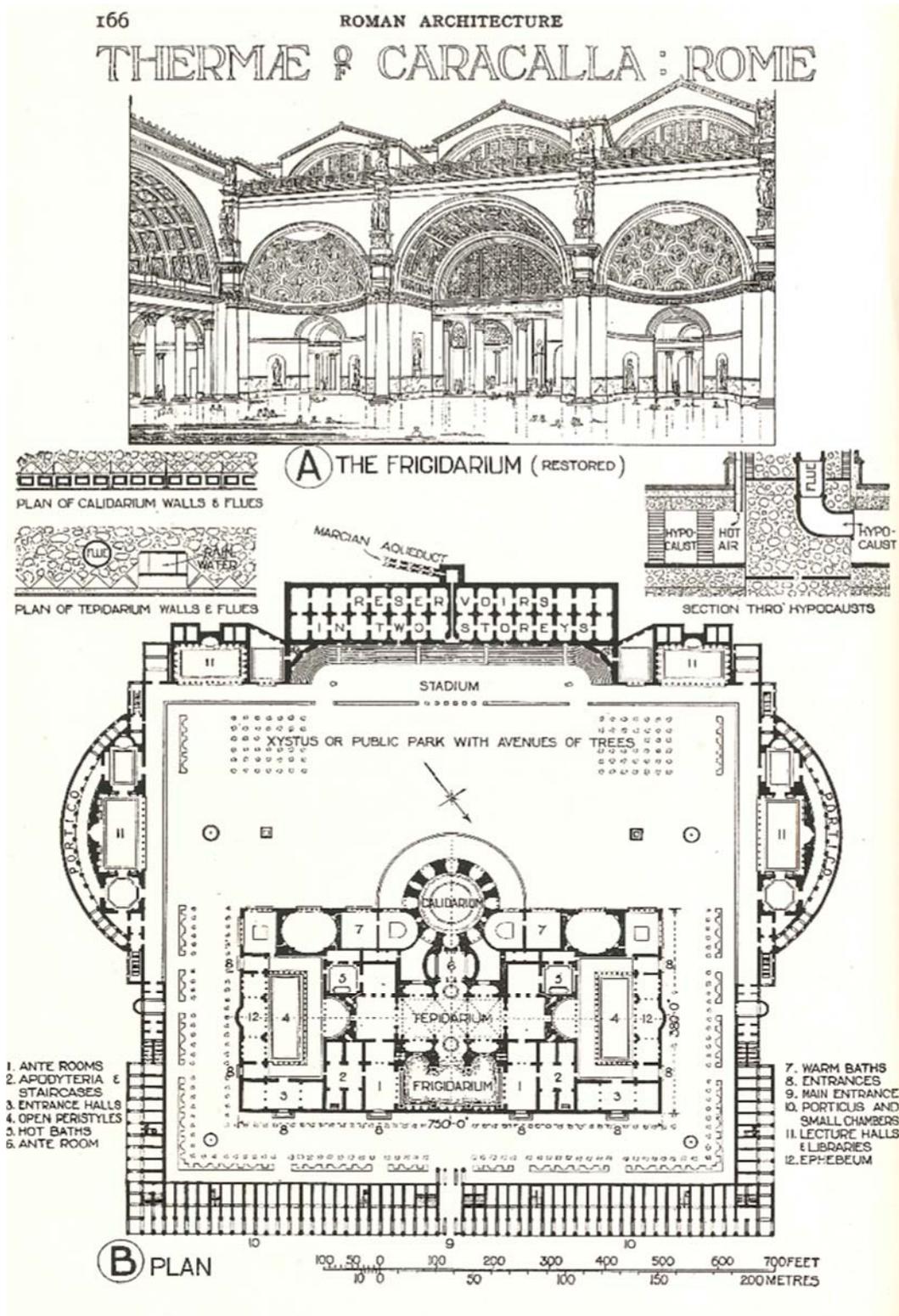


Ilustración 15. Terma de Caracalla según B. Fletcher.

Ya el siglo XX, se han localizado algunos trabajos y análisis procedentes de investigaciones desarrolladas principalmente en el ámbito arqueológico, entre las que se incluyen artículos en revistas y congresos y algunas tesis doctorales realizadas a partir de trabajos arqueológicos de campo. Tal vez la publicación más importante en los últimos años sobre termas romanas sea *Thermae et Balnea* de Inge Nielsen, publicada en 1990, en la que recopila una documentación muy completa de todos los aspectos referidos a una terma (construcción, gestión, tipologías, contexto social, etc.). Además, aporta un inventario sobre el emplazamiento de las termas más conocidas y estudiadas del Imperio romano. Nielsen marca el punto de partida de cualquier investigación sobre termas romanas en la actualidad, pero hay que decir que se basa en los resultados previos de otras investigaciones abordadas durante ese mismo siglo. Entre ellas destacan los estudios de Krencker en 1929, en los que describe el funcionamiento de las termas de Trier (Alemania); los de Ketzschmer (1953), quien analiza el sistema de calefacción del hipocausto; y Eschebach (1979), quien escribió una importante monografía sobre el origen de los baños en Pompeya.

A partir de la publicación de Nielsen, Janet DeLaine defendió su tesis doctoral en la Universidad de Adelaida, un texto que se ha convertido en otro referente, menos conocido y consultado, pero igualmente interesante por su contenido y definición. La misma trata sobre la investigación del diseño y construcción de las termas de Caracalla, centrándose en sus aspectos constructivos, su materialidad y en los modelos de gestión de sus obras de construcción (DeLaine 1997)<sup>20</sup>.

En la década de los 90, aparecen otros dos grandes investigadores que recopilan aspectos muy generales con mucho detalle y se convierten en otras fuentes documentales a ser consultadas a la hora de iniciar cualquier investigación sobre complejos termales. El primero es F. Yegül, quien escribe en 1992 *Baths and bathing in the classical antiquity*, en el que recoge la mayor parte de sus investigaciones y redacta un documento bastante útil para entender las tipologías termales. El segundo es F. C. Fagan, quien escribe *Bathing in public in the Roman World*, en el que también recopila información sobre las tipologías e interpreta la funcionalidad más social del baño termal.

La aportación italiana al conjunto de publicaciones consultadas merece un apartado por la gran cantidad y calidad de las mismas. Muchas se encuentran centradas en las excavaciones realizadas en lugares muy importantes por la entidad de sus restos arquitectónicos, como son las ciudades de Pompeya y Ostia Antica, sin olvidar la propia Roma. Aunque en estas localizaciones también han participado investigadores de otros

---

<sup>20</sup> J. DELAINE (1997). "The baths of Caracalla. A study in the design, construction, and economics of large-scale building projects in imperial Rome", en *JRA Inter. Series 25*, Portsmouth.

países, la dirección desde las escuelas o instituciones italianas coordina la mayoría de la publicación de estos trabajos. A. Carandini y C. Panella publicaron en 1977 los primeros resultados de las termas del Nadador de Ostia Antica (Carandini y Panella 1977), completando en contribuciones posteriores los trabajos realizados en dicha terma hasta llegar a la investigadora M. Medri con su libro editado en 2013, *Ostia V. Le terme del nuotatore. Cronologia di un'insula ostiense* (Medri et al. 2013)<sup>21</sup>, que recopila y ordena los resultados excelentes obtenidos hasta el momento.

Diversos estudios y monografías se han ocupado parcial o puntualmente de los complejos termales de dicha ciudad. A los ya nombrados anteriormente, se deben añadir los realizados por P. Cicerchia y A. Marinucci, quienes en 1992 publicaron las excavaciones realizadas en las termas del Foro (Cicerchia y Marinucci 1992), y a M<sup>a</sup> A. Ricciardi, que realizó una excelente descripción de los sistemas hídricos y termales en su publicación *La civiltà dell'acqua in Ostia Antica* (Ricciardi y Scrinari 1996)<sup>22</sup>. Con respecto a Roma, la publicación del investigador R. A. Staccioli, en su libro *Acquedotti, fontane e terme di Roma antica: i grandi monumenti che celebrarono il "trionfo dell'acqua" nella città più potente dell'antichità* nos describe los aspectos técnicos en torno al transporte y utilización del agua (Staccioli 2005)<sup>23</sup>.

En relación con la ciudad de Pompeya, son numerosas las aportaciones que muchos investigadores han realizado sobre la misma y su área limítrofe. Entre ellas tenemos la publicación de Pasquale Gallo en 1991 titulada *Terme e bagni in Pompei antica*, donde describe las distintas termas existentes en Pompeya. En 1993, M. Pasquinucci publicó el libro *Terme romane e vita quotidiana* donde repasa los aspectos más sociales referidos a las termas, tanto en la fase de la construcción como en la gestión.

En cuanto a los investigadores franceses, la colección de revistas de la escuela francesa en Roma es uno de los mejores lugares para encontrar la documentación con más conexión con las termas edetanas<sup>24</sup>. Investigadores como R. Rebuffat, H. Broise, V. Jolivet, Y. Thébert, E. Lenoir, J. Scheid, entre otros, están presentes en las actas del primer encuentro sobre termas romanas celebrado en Roma en 1988 *Table ronde organisée*

---

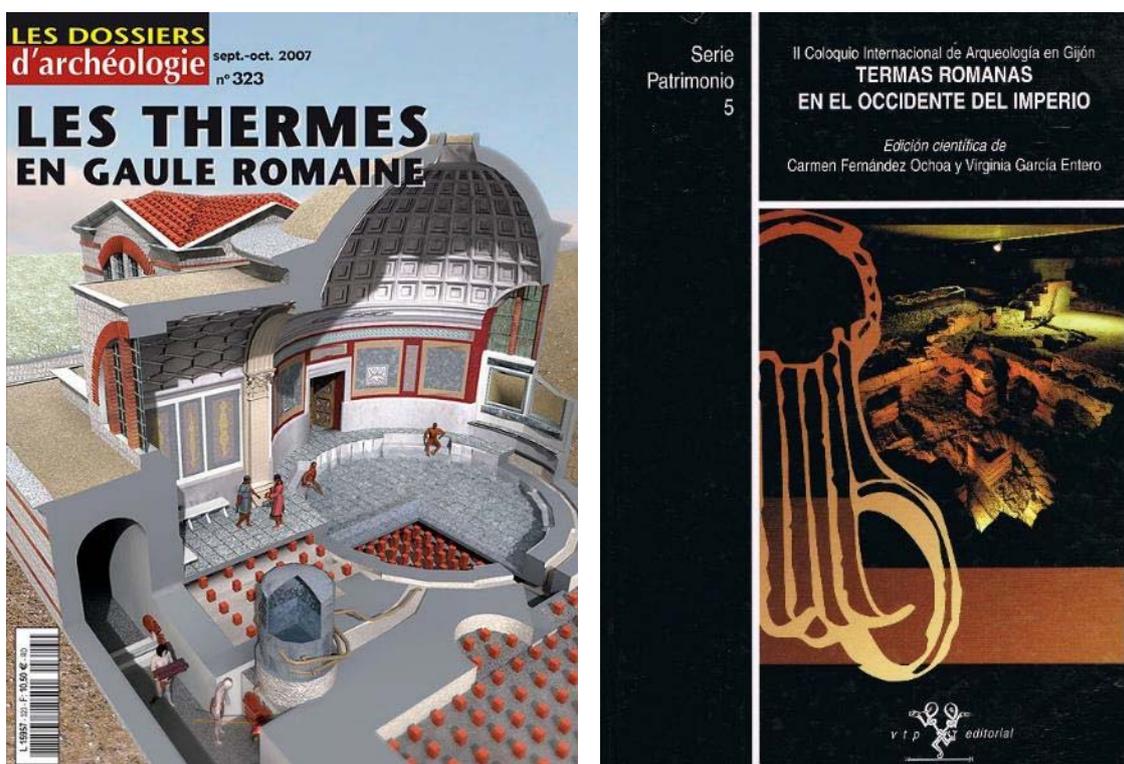
<sup>21</sup> M. MEDRI, V. DI COLA, A. CARANDINI Y C. PANELLA. (2013), *Ostia V. Le terme del nuotatore. Cronologia di un'insula ostiense*. Roma: L'Erma di Bretschneider.

<sup>22</sup> M. A. RICCIARDI y V. S. M. SCRINARI (1996). *La civiltà dell'acqua in Ostia Antica*. 2 vol. Roma: Fratelli Palombi. ISBN: 9788876218231

<sup>23</sup> R. A. STACCIOLI (2005). *Acquedotti, fontane e terme di Roma antica: i grandi monumenti che celebrarono il "trionfo dell'acqua" nella città più potente dell'antichità*. Roma: Newton & Compton.

<sup>24</sup> En principio y según comentaremos en el capítulo 2 las termas de Mura siguen los patrones y diseños realizados en la franja romana norte de África y sur de Hispania.

par l'École française de Rome (VV. AA. 1991)<sup>25</sup>. En esta publicación se tratan de forma magistral los aspectos referidos a la gestión de los edificios termales, su construcción, detalles como las ventanas y conductos de canalización y temas que abordan la variedad del vocabulario específico e incluso las cuestiones religiosas. Degbomont, en 1984, publicó *Hypocaustes. Le chauffage par hypocauste dans l'habitat privé*<sup>26</sup>, donde centró sus investigaciones en recopilar los datos y analizar el sistema de hipocausto en las viviendas privadas (Degbomont 1984). Por último también es interesante citar el número 323 de la revista *Les dossiers d'archéologie* editado en 2007, que dedica un monográfico a las termas de la Galia Romana (VV. AA. 2007)<sup>27</sup>, con artículos muy interesantes escritos por el investigador A. Bouet.



Ilustraciones 16 y 17. Portada de las publicaciones sobre las termas en la Galia Romana y del II Coloquio Internacional de arqueología en Gijón.

<sup>25</sup> AA. VV. (1991). *Les thermes romains. Actes de la table ronde organisée par l'école française de Rome (Rome, 11-12 novembre 1988)*. 1 vol. Roma: Ecole française de Rome. 22,5 × 28 cm. ISBN: 02-7283-0212-6

<sup>26</sup> J. M. DEGBOMONT (1984). *Hypocaustes. Le chauffage par hypocauste dans l'habitat privé*. Lieja: Universidad de Liège. ISBN: 2-930322-02-0.

<sup>27</sup> VV. AA. (2007). "Les thermes en Gaule romaine", *Dossiers d'Archéologie*, 323.

En el contexto hispano, las mayores aportaciones al conocimiento de la arquitectura termal se deben a la investigadora Carmen Fernández Ochoa y su equipo (Fernández *et al.* 2004)<sup>28</sup>. Durante más de una década han promovido, desde el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la UAM, tres proyectos de investigación subvencionados por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (DGICYT) del Gobierno de España, en los que se realiza una exhaustiva descripción y situación de todos los elementos termales en la Hispania romana. Gracias a sus publicaciones y actividades de divulgación,<sup>29</sup> hoy se dispone de una valiosa documentación de estas construcciones, que debe constituir necesariamente el punto de partida para cualquier investigador que desee adentrarse en este campo de actuación<sup>30</sup>.

Con anterioridad a estos trabajos cabe citar las investigaciones de G. Mora (1981), quien recopiló, a modo de inventario, la información existente sobre las termas romanas en el territorio de la Hispania. Y también merecen ser recordados L. Roldan (1992; 1993; 1995), que centró sus estudios en la Bética, y Pérez Losada (1992) quien ha analizado los hipocaustos gallegos.

Por último, cabe mencionar la publicación coordinada por M. J. Pérez Agorreta (Pérez Agorreta *et al.* 1997) sobre termalismo antiguo, que recoge las comunicaciones realizadas en el I congreso peninsular realizado sobre este tema en Arnedillo.

Las investigaciones que tratan los aspectos técnicos y constructivos aparecerán convenientemente referenciadas en los capítulos correspondientes, aunque merecen un apunte en esta sección dos textos: la publicación del arqueólogo francés J. P. Adam (Adam 1996), quien en su libro *La construcción Romana, materiales y técnicas* nos describe los procesos constructivos, tipologías de aparejos, materiales e incluso utensilios necesarios para la construcción de las obras romanas; y la publicación de C. Fernández

---

<sup>28</sup> C. FERNÁNDEZ OCHOA, V. GARCÍA-ENTERO, A. MORILLO CERDÁN, M. ZARZALEJOS PRIETO (2004). "Proyecto Termas Romanas en Hispania. Balance de una década de investigación (1993-2003)", *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 30, pp. 167-185.

<sup>29</sup> *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas romanas en el occidente del imperio*. Gijón 2000.

<sup>30</sup> En las conclusiones de su balance (1993-2003) indica "[...] si al iniciar nuestro primer proyecto de investigación en el año 1993, la península ibérica mostraba un significativo vacío en lo referente a las instalaciones balnearias romanas, podemos afirmar que, a la fecha de redacción de este balance, es Hispania en su conjunto, probablemente, una de las provincias romanas donde actualmente se conoce mejor este tipo de construcciones, tanto en el ámbito público como en el privado." (Fernández *et al.* 2004, 178).

Casado (1985)<sup>31</sup> *Ingeniería hidráulica romana*, que repasa todas las tipologías de obras referidas a la captación, transporte y evacuación del agua en estas infraestructuras.

Llama la atención que las termas de Mura apenas han sido citadas en las investigaciones descritas anteriormente. No resulta comprensible que uno de los complejos termales superficialmente más extensos de la Hispania Tarraconensis, con un conjunto termal doble, un santuario oracular vinculado al complejo y con una estructura termal tan singular, no haya gozado hasta ahora del protagonismo documental que merece. Tan solo han sido citadas en dos comunicaciones anteriores a 2009<sup>32</sup>, escritas por los propios arqueólogos que han realizado las campañas de excavaciones arqueológicas en el recinto: Vicent Escrivà, Xavier Vidal y Carmen Martínez.

Estos autores publicaron en 1995 en la revista *Saguntum* la comunicación “La partida de Mura (Liria, Valencia): Un conjunto documental de época Flavia” (Escrivà *et al.* 1995), que incluye una descripción pormenorizada de los restos arquitectónicos del complejo monumental, aún sin excavar en su totalidad. En 2001 publicaron en la revista *Lauro. Quaderns d’història i societat* la ponencia “Edeta Kai Leiria. La ciutat romana d’Edeta de l’època romana a l’antiguitat tardana” (Escrivà *et al.* 2001), donde se aportó una descripción más detallada de las últimas excavaciones. Después de las obras de intervención realizadas por la Conselleria de Cultura entre los años 2011-2013 se publicaron dos comunicaciones al respecto. En la titulada “Estudios de arquitectura romana. Las termas mayores de Mura, Llíria (Valencia)” (Esteban 2015)<sup>33</sup> se desglosaron los criterios seguidos para la adopción de ciertas soluciones constructivas y la elaboración una hipótesis de la construcción real del complejo.

Durante el proceso de ejecución de aquellas obras en 2012 se presentó también la ponencia “3D Laser Scanning and Virtual Reconstructions, their integration as research and educational tools for representing the past. Case study: the Virtual Roman Baths of Edeta” en el CAA2012. 40th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology en Southampton. En la misma se expusieron los trabajos de reconstrucción virtual del complejo termal a partir del escaneo láser realizado sobre cada

---

<sup>31</sup> C. FERNÁNDEZ CASADO (1985). *Ingeniería hidráulica romana*. Madrid: Ediciones Turner. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

<sup>32</sup> Fecha de inicio de la redacción del proyecto de las obras de intervención y valorización en el santuario oracular y termas de Mura.

<sup>33</sup> J. ESTEBAN CHAPAPRÍA y E. MOLINER CANTOS (2015). “Estudios de arquitectura romana. Las termas mayores de Mura, Llíria (Valencia)”, *Papeles del Partal*, 7. Academia del Partal.

uno de los elementos existentes en las termas y que pudieron ser resituados a su posición original (Porcelli *et al.* 2012)<sup>34</sup>.

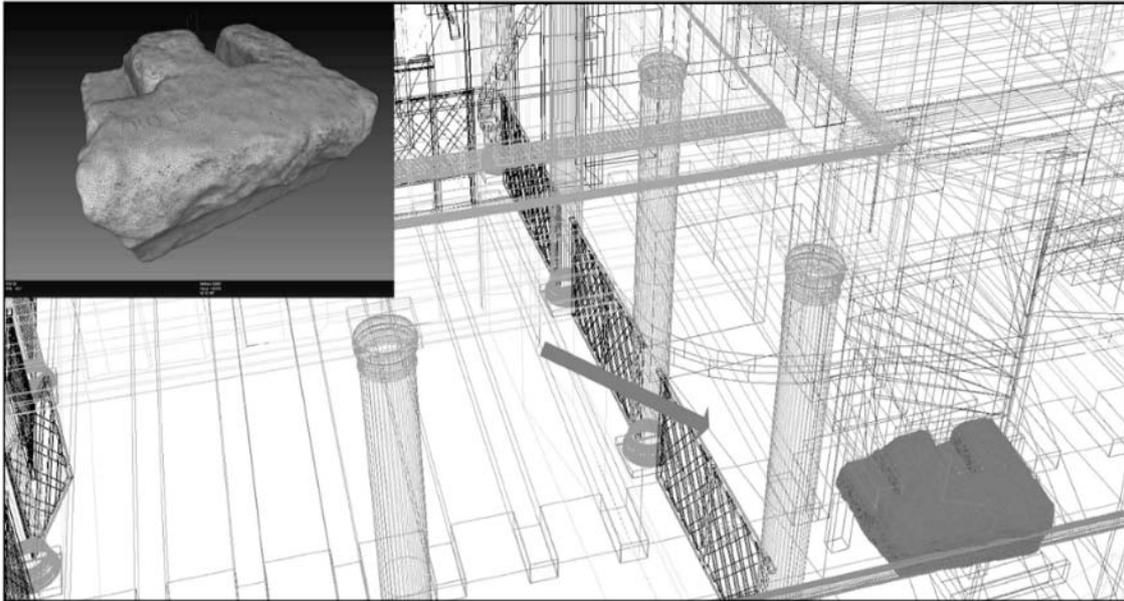


Ilustración 18. Detalle del proceso de reconstrucción virtual de la *basilica thermarum*. Autor: Vito Porcelli (Global Mediterranea, S. L.).

---

<sup>34</sup> V. PORCELLI, F. COTINO VILLA, J. BLASCO I SENABRE, V. ESCRIVÀ TORRES, Y J. ESTEBAN CHAPAPRÍA. (2012). "3D Laser Scanning and Virtual Reconstructions , their integration as research and educational tools for representing the past. Case study: the Virtual Roman Baths of Edeta", en I. R. and D. W. Earl, Graeme, Tim Sly, Angeliki Chrysanthi, Patricia Murrieta-Flores, Constantinos Papadopoulos (ed.): *CAA2012 Proceedings of the 40th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton, United Kingdom, 26-30 March 2012*, pp. 133-144. Southampton: Amsterdam University Press.

## 1.4. TIPOLOGÍA ROMANA DE LAS TERMAS

### 1.4.1. Origen

El esquema funcional de las termas no surgió de manera espontánea, sino que parece haber ido evolucionando desde el periodo helénico, a partir de condicionantes diversos que afectan al ámbito arquitectónico, político y social (Oró 1996, 25)<sup>35</sup>. Es importante incidir en la importancia de las actividades de ocio en la etapa anterior al mundo romano, ya que la práctica del esfuerzo físico y el baño deben enmarcarse en ese contexto.

Es precisamente en el marco de la preparación física donde aparecen las primeras dependencias destinadas al baño *balaneion*, aunque no deben asociarse tan solo al ámbito deportivo o de la higiene pues, en realidad, pretenden lograr una armonía entre el cuerpo y la mente (Pabón 1967, 105)<sup>36</sup>. Las primeras instalaciones se encontraban al aire libre, con presencia de vegetación, normalmente olivos, y cerca de la palestra, área de gimnasio, y de la exedra, lugar de enseñanza de la filosofía (Tuero 2013, 64)<sup>37</sup>. Hacia el siglo V a. C. se ha documentado la presencia de un recipiente individual a modo de bañera de piedra o terracota, en el cual se vertía agua caliente. Estas bañeras se disponían en salas circulares, distribuidas de una forma radial y cercanas a los muros, donde existían unos nichos para poder depositar la ropa y los accesorios de baño. Este tipo de edificios eran principalmente privados y siempre estaban vinculados a los lugares de la práctica deportiva y militar, por el peculiar carácter de las actividades físicas que se solían realizar: gimnasia, atletismo y entrenamiento militar.

Más tarde, estos edificios evolucionaron, construyéndose dependencias mayores con una gran sala principal de acceso, rodeada de pórticos dedicados a la actividad deportiva, piscinas de mayor tamaño e incluso las saunas de fuego directo, que constituyen la primera gran aportación a la calefacción de este tipo de edificios. Cabe destacar que los gimnasios griegos también eran un espacio para la cultura. Disponían de salas en las que se daban conferencias y clases, y existía un lugar destinado a biblioteca. Estos edificios monumentales eran también centros de adoración a los dioses y héroes griegos, una realidad que también será muy importante destacar en la

---

<sup>35</sup> E. ORÓ (1996). "El Balneario romano: aspectos médicos funcionales y religiosos", *Antigüedad y cristianismo*, 13, pp. 23-151.

<sup>36</sup> J. M. PABÓN S. de URBINA (1967). *Diccionario Manual Griego. Griego clásico-Español*. Madrid: Vox.

<sup>37</sup> C. E. TUERO DEL PRADO (2013). "Las termas Romanas, establecimientos precursores de los actuales centros acuáticos de ocio", *Citius, Altius, Fortius*, 6 (1), pp. 61-87.

evolución de la *terma* romana, ya que en muchas ocasiones se suelen vincular con santuarios y templos oraculares. Con el tiempo, en el periodo helenístico, se comenzó a considerar el *balaneion* como un verdadero servicio comunitario, y empezó a verse con más frecuencia y centralidad en las ciudades, aunque en ocasiones desde un punto de vista de pésima reputación<sup>38</sup>.

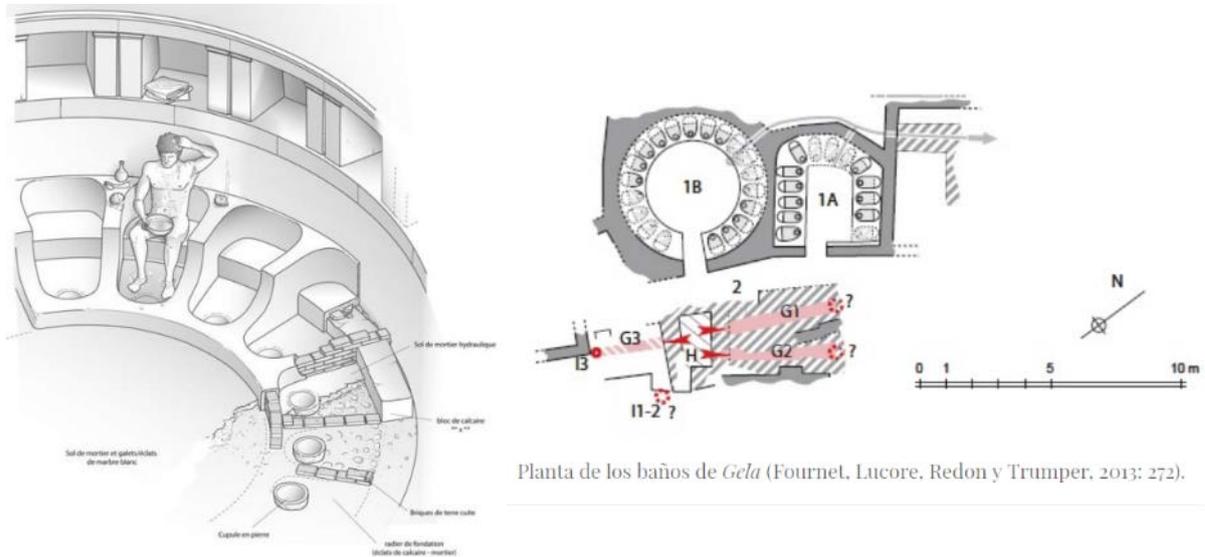


Ilustración 19. Reconstrucción de *pyeloi* o bañeras de baño por aspersión en el interior del *tholos* de un *balaneion* (Fournet y Redon 2010, 57).

Una vez aceptada la actividad termal<sup>39</sup> griega por los romanos, pronto comenzó a crecer el fenómeno y a expandirse por sus distintas provincias creando una serie de tipologías unificadas, casi industrializadas y versátiles, con unos sistemas constructivos fácilmente reproducibles. Estas tipologías son fruto de la evolución de los antiguos gimnasios griegos, pero también de la necesidad de mayores espacios debido a la concentración de viviendas en sus ciudades que dedicaban muy poco espacio para la higiene personal (Segura y Cuenca 2007, 95)<sup>40</sup>. Hay que aclarar que los romanos tenían la costumbre de cuidar su higiene personal todavía con una mayor frecuencia que los griegos. Solían lavarse diariamente la cara, brazos y piernas y darse un baño completo cada nueve días (Guillén 1978)<sup>41</sup>. También existen teorías que vinculan la evolución de los baños y termas

<sup>38</sup> Son varios los autores (Tuero del Prado 2013, Lara 2003 y Segura 2007) que indican que son lugares de pésima reputación susceptibles de afeminar y ablandar el cuerpo y de aunar en estos establecimientos a los ociosos de la juventud dorada, los charlatanes y las prostitutas.

<sup>39</sup> No hay que olvidar que “terma” es un término de origen griego (θερμός) que significa caliente.

<sup>40</sup> S. SEGURA y M. CUENCA (2007). *El ocio en la Grecia clásica*. Bilbao: Universidad de Deusto.

<sup>41</sup> J. GUILLÉN (1978). *Urbs Roma. Vida y costumbre de los romanos. La vida pública*. II. Salamanca: Sígueme.

a la aparición de las grandes infraestructuras hidráulicas que proporcionaron abundancia de agua a las ciudades y, también, al complejo termal (Kanner 2000)<sup>42</sup>.

Es importante señalar la utilización diferenciada de los términos baños (*balnea*) y termas (*thermae*) durante los inicios de la construcción de estas grandes infraestructuras. Algunas hipótesis vinculan esta diferenciación a quien las regenta o es propietario del establecimiento. Los *balnea* eran construidos y explotados por empresas y particulares y las *thermae* eran construidas por ciudadanos ricos y poderosos y más tarde por los emperadores, aunque ambos son públicos (Guillén 1977, 330). A esta diferencia se le une también el tamaño del propio edificio. El baño siempre es más pequeño y con menor capacidad, y las termas son más grandes y presentan dependencias anexas como la palestra y demás salas donde no solo se bañaba la gente (García y Arribas 2000)<sup>43</sup>.

#### 1.4.2. Funcionamiento de las termas

El principio de funcionamiento de las termas romanas se establecía, primeramente, alrededor del eje principal que generaba la lámina de agua sobre las distintas dependencias y, posteriormente, en el ambiente generado en la gradación de temperaturas durante el trayecto entre las salas, pasando de frío a templado, de templado a caliente, de nuevo a templado y de nuevo a frío (Plinio XXXVIII, 55)<sup>44</sup>. La palestra o gimnasio todavía se mantienen dentro del complejo, pero se relegan a un segundo plano, más centrado en el ocio contemplativo de luchas y juegos, ya que el romano prefiere las salas calientes para generar el sudor antes que ejercitar físicamente su cuerpo hasta la sudoración (Tuero del Prado 2013, 73). Aunque existen muchos investigadores que todavía documentan la utilización de la palestra con fines puramente deportivos y vinculados al uso posterior del baño en las termas, formando parte de su ritual preparatorio (Carcopino 1989, 328)<sup>45</sup>.

Alrededor de estos edificios y según el tamaño y afluencia de usuarios se generaba una auténtica vida comercial y de servicios que tenía mucha relación con el uso de la terma. Se construyeron varias dependencias como tabernas (*tabernae*), donde poder adquirir

---

<sup>42</sup> C. KANNER (2000). *The book of the bath*. Los Ángeles, California: Calamus.

<sup>43</sup> V. GARCÍA ENTERO Y R. ARRIBAS DOMÍNGUEZ (2000). “Los *balnea* de las villae y su proceso de monumentalización”, en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio* (pp. 83-96). Gijón: VTP Editorial.

<sup>44</sup> Citado en Carcopino 1989, p. 328.

<sup>45</sup> J. CARCOPINO (1989). *La vida cotidiana en Roma en el apogeo del imperio*. Madrid: Temas de Hoy.

todo tipo de comida y bebidas; tiendas donde poder comprar utensilios como el estrígilo<sup>46</sup>, toallas, sandalias, ungüentos o perfumes. Paralelamente, también aparecieron dependencias no muy ligadas al uso de la terma sino más bien al dinamismo que generaba la gran afluencia de personas. Se crearon pequeñas habitaciones distribuidas alrededor de un patio (*hospitia*), donde alojar a oradores, cómicos, echadores de la buena ventura e incluso lugares para practicar sexo (Malissard 1996, 122)<sup>47</sup>.

Mención aparte es la posible conexión entre la construcción de santuarios oraculares y el propio complejo termal. En un lugar social, como son las termas, el lugar de culto tampoco suele faltar. El santuario oracular de las termas de Mura en Lliria, al igual que en el caso de las termas de Bath (Somerset, Inglaterra) y Asclepieia (Grecia), entre otros, fue construido como templo de culto, cuyos aspectos espirituales y curativos completaban la labor realizada en las termas, aunque todavía estas hipótesis no están del todo contrastadas (Escrivà y Vidal 1995)<sup>48</sup>. La conexión directa entre estos edificios se podría entender como una conjunción para obtener el “confort humano”, tanto el físico como el psicológico.

El proyecto de una terma debía habilitar espacios propios para cada fase del ritual del baño y debía contemplar todos los aspectos que condicionaban dicha actividad. Se accedía al complejo a través de un vestíbulo que, en el caso de las termas de gran tamaño, recibía el nombre de *basílica termarum*. Estas dependencias, dependiendo de la envergadura del complejo y su capacidad, solían construirse alrededor de un patio rectangular porticado de doble altura, que daba acceso a varias salas de espera o reunión, con una clara función de socialización, previa o posterior al baño. En ocasiones, estas salas también podían servir como vestuario e incluso albergar algunos juegos deportivos que requerían poco espacio (Nielsen 1990, 162).

A continuación, siguiendo el recorrido habitual, se encontraba el *apodyterium*, una sala rectangular abovedada con bancos y nichos en los muros para depositar la ropa y los enseres de los bañistas, que también podían ser ampliados o sustituidos por estanterías. Era bastante usual que estuvieran custodiados por los esclavos (*capsarii*) o por el personal de la terma a cambio de una propina (Tuero del Prado 2013, 79). Era bastante frecuente disponer de una fuente de agua fría (*labrum*) y un lugar donde poder lavarse los pies

---

<sup>46</sup> Pieza curva normalmente de metal, madera o marfil, utilizada para retirar la suciedad o ungüentos depositados sobre el cuerpo.

<sup>47</sup> A. MALISSARD (1996). *Los romanos y el agua*. Barcelona Herder.

<sup>48</sup> V. ESCRIVÀ TORRES y X. VIDAL FERRÚS (1995). “La partida de Mura (Lliria, Valencia): un conjunto monumental de época Flavia”, *Sagvntvm. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 26.

(*pedilouve*) antes de iniciar el circuito termal (García-Entero 2005, 359)<sup>49</sup>. El *labrum*, sobre todo en las termas construidas antes del siglo I d. C., también se instalaba en las salas calientes, en una posición central, permitiendo refrescarse con agua fría durante la estancia en esta sala calefactada. En el *apodyterium* se iniciaba el circuito que conectaba con la sala fría (*frigidarium*), la sala templada (*tepidarium*) y sala caliente (*caldarium*) y, ocasionalmente, también con el *sudatio* (una pequeña sauna)<sup>50</sup>, a través de un pasillo que comunicaba, asimismo, con las zonas de servicio.

El proceso de baño en la zona termal consistía en acceder primero a las salas frías y, cambiando sucesivamente de sala, ir pasando después a ambientes más cálidos. También era habitual alternar temperaturas frías con calientes pasando por la sala templada que regulaba estos cambios bruscos de temperatura. En las termas o baños pequeños era común la ausencia del *tepidarium*, pasando directamente de la sala fría a la sala caliente.

El *frigidarium* (sala fría) solía tener planta rectangular, aunque se conocen algunos ejemplos de formas redondeadas y poligonales. Habitualmente estaba cerrado con una bóveda, ya fuera de cañón, de arista o una cúpula, la cual contaba con una pequeña abertura que permitía la iluminación y ventilación. Solía ser con frecuencia la sala más grande de las termas y la última o primera que se visitaba dependiendo del gusto o de la sensibilidad de cada usuario, pues contaba con pequeñas piscinas de agua fría que permitían la inmersión completa de una persona. Estas piscinas recibían el nombre de *alveus*, aunque también se les ha denominado *baptisteria* si tenían forma circular o semicircular.

El *tepidarium* (sala templada) solía considerarse un espacio de transición, aunque muchos documentos la etiquetan como una zona de estar donde poder descansar, aplicarse ungüentos y aceites, o depilarse, pues solía mantener una temperatura más elevada que la estancia fría, pero menor que la caliente, como ya se ha señalado. En su configuración se observan numerosas variaciones de aspecto y tamaño que depende de cada terma. Y lo mismo ocurre con la solución de cubierta, que muestra distintas variantes, al igual que la disposición de los *alveus*.

El *caldarium* es la sala caliente por excelencia de las termas, la que se encontraba a una mayor temperatura por la incidencia directa del aire caliente que circulaba desde los hornos (*praefurnium*) por el *hypocaustum* hacia los sistemas de ventilación y evacuación

---

<sup>49</sup> V. GARCÍA-ENTERO (2005). *Los balnea domésticos —ámbito rural y urbano— en la Hispania romana*. Anejos de la AESPA XXXVII, Madrid: CSIC.

<sup>50</sup> Es bastante usual la presencia de la *sudatio* en las termas más tempranas o en las que se ubicaban en climas más fríos.

de aire dispuestos en las paredes (*tubili* o *concameratio*) llegando a la chimenea que evacuaba el aire caliente al exterior (Piranomonte 2006, 57)<sup>51</sup>. Dicha estancia, tal y como es conocida hoy en día, no fue definida hasta el siglo I a. C.<sup>52</sup>. Antes se calentaban los baños principalmente con braseros, como los encontrados en el *tepidarium* masculino de los baños del foro de Pompeya (Nielsen 1990, 14). Esta sala también tenía grandes dimensiones como el *frigidarium* y normalmente la estructura era abovedada con un ábside en un extremo, de forma que permitía la disposición de un orificio circular para poder ventilar e iluminar la estancia. Era también usual la presencia de piscinas de agua caliente a modo de *alveus*, casi siempre colocadas en zonas cercanas al *praefurnium* para conseguir un mejor aprovechamiento del calor. En el extremo más lejano al horno se disponía el *labrum* con agua fría para permitir refrescarse durante el proceso del baño.

También, en algunas termas, podían disponerse dos salas anexas al *caldarium* cuya función estaba relacionada con el distinto tipo de calor que se producía. Se denominaban *laconicum*, donde se producía el vapor seco, y *sudatio concamerata* donde se producía el vapor húmedo. Los aspectos relativos al funcionamiento de estas salas no han sido suficientemente estudiados; las referencias bibliográficas consultadas discrepan sobre la organización programática y los aspectos tecnológicos de cada uno de estos espacios. Pero queda patente, en cualquier caso, que una y otra se rigen por conceptos antagónicos tal y como los describe Vitruvio en el libro V (Miró 1992, 268)<sup>53</sup>.

La zona de servicio estaba formada básicamente por un lugar donde se almacena el combustible (se empleaba esencialmente leña o carbón) y por la boca del horno (*area*) que conectaba con el *hypocaustum*. El suministro de la madera se solía hacer desde el exterior, teniendo en cuenta que el aporte de material debía ser casi continuo pues el consumo de madera era considerable en los momentos de encendido. Cuando se había alcanzado la temperatura óptima en las salas, el encargado de la terma (*balneator*) hacía

---

<sup>51</sup> M. PIRANOMONTE (2006). *Termas de Caracalla*. Roma: Ministerio per i beni e la Attività Culturali. Soprintendenza Archeologica di Roma

<sup>52</sup> Se le atribuye al ingeniero romano Caius Segius Aurata, inventor ingenioso y activo empresario que vivía en la provincia de Nápoles y al que todos documentan como inventor del sistema utilizado para calefactar piscinas (Forbes 1966b) *Studies in Ancient Technology*, vol 6: I Heat and Heating. II Refrigeration, the Art of Cooling and Producing Cold. III Light. Brill.

<sup>53</sup> C. MIRÓ I ALAIX (1992). "La arquitectura termal medicinal de época romana en Catalunya. Las termas de Caldes de Montbui como ejemplo", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, 5.

sonar una campana para avisar a los usuarios de que ya podían acceder al recinto (Castillo 1983)<sup>54</sup>.

La combustión de la madera o del carbón se producía en el horno (*praefurnium*). Este calentaba el aire que a continuación se introducía hacia el interior del *hypocaustum*. La zona de combustión (*area*) se situaba a una cota ligeramente inferior al *caldarium* y separada por gruesos muros que, gracias a su inercia térmica, mantenían el calor durante más tiempo. Sobre la boca del horno se colocaban tres calderas de bronce conectadas entre sí mediante conductos, de forma que se generaba una circulación de aire de la caliente y la fría hacia a la intermedia para poder distribuir el agua a una temperatura óptima para el cuerpo humano. En ocasiones los *alveus* estaban calefactados directamente mediante un recipiente de bronce o cobre (*testudo*) conectado directamente con la boca superior del horno (Vitruvio, V, 11, 130). Se puede afirmar con toda certeza que este espacio debía reunir unas condiciones de trabajo realmente duras habida cuenta del insostenible ambiente generado por el calor y el humo. Por tal motivo los operarios encargados de estos trabajos (*fornacator*) normalmente eran esclavos fuertes que debían de conocer con bastante pericia el proceso de encendido del horno, ya que era necesario que todo el espacio se llenara de aire caliente y pudiera transmitir el calor al pavimento y este a las distintas estancias.

Generalmente, solía disponerse unas letrinas en las inmediaciones de las termas. Solían ocupar una estancia de pequeñas dimensiones, normalmente rectangular, dispuesta sobre las canalizaciones de alcantarillado mediante rebancos con orificios circulares que permitían el rápido desalojo de los residuos allí depositados.

Por último, cabe aludir también a la palestra, el espacio ya referido anteriormente donde se practicaban los ejercicios físicos antes del baño. Su tamaño podía variar en función de la superficie disponible, pero generalmente estaba comunicada con las zonas de servicio o el *apodyterium*. En ocasiones podía incluir una piscina para nadar al aire libre, sin climatizar y excavada en el terreno, llamada *natatio*. Esta piscina solía tener forma rectangular y sus escaleras de acceso en ocasiones se convertían en lugares de conversación. La *spaeristerium* era la dependencia específica donde se practicaba la gimnasia y el *unctatorium* el lugar donde se aplicaban ungüentos o se realizaban los masajes fuera de las salas termales. A su vez, todo este complejo arquitectónico estaba rodeado por una explanada con multitud de sombras y fuentes que servían de terreno

---

<sup>54</sup> C. CASTILLO GARCÍA (1983). "Un trienio de epigrafía latina en Hispania: logros y perspectivas", EN *Unidad y pluralidad en el mundo antiguo. Actas del VI Congreso Español de Estudios Clásicos (Sevilla 1981)*, vol. I, pp. 105-125. Madrid.



### 1.4.3. Tipologías

Las características tipológicas de los edificios termales edificados a lo largo y ancho del imperio muestran diversas variaciones atribuibles a diferentes aspectos. Uno de los más importantes, y que afecta muy directamente al diseño funcional de las termas, tiene que ver con las condiciones climatológicas del lugar. Las termas eran diseñadas estratégicamente para intentar optimizar la incidencia directa del sol y minimizar el impacto de otros agentes climáticos, como el viento gélido. También se tenía en cuenta el posible desarrollo poblacional, la densidad de edificación existente en las inmediaciones y su posible evolución. E igualmente influían las características de dicha población, como por ejemplo el grado de aceptación de esta cultura del baño en el estrato social mayoritario de la población. Era muy frecuente que, en las poblaciones más periféricas del imperio, las situadas cerca de las fronteras, sus habitantes tuvieran un marcado perfil militar (Nielsen 1990, 60).

Hay que recordar que la instalación de edificios termales predispone a la población hacia una forma de vida basada en el ocio y las relaciones sociales muy romana, pero que no todos los pueblos estaban preparados para aceptar de entrada. Por eso es habitual localizar en cualquier excavación arqueológica de las villas y asentamientos romanos de cierta envergadura estas instalaciones, pero puede no encontrarse en otros lugares más despoblados o alejados de la civilización. Esta capacidad de adaptación a distintas necesidades y tamaños de población propició la formulación de esquemas termales muy versátiles, formados por uno o más complejos, que se adaptaban a todas estas variables, incluso modificando edificios preexistentes (García y Arribas 2000, 84)<sup>55</sup>.

De la extensa documentación consultada, se extrae una conclusión tan inmediata como contundente: no se han encontrado en los vastos territorios del Imperio romano dos edificios termales idénticos. Esta certeza solo afecta a la organización funcional del edificio<sup>56</sup>. Como conclusión a este breve repaso de las tipologías existentes, cabe decir que no hay dos termas iguales en su diseño arquitectónico aunque todos los parámetros constructivos, sistemas termales, canalizaciones hidráulicas y materiales respetan los criterios de estandarización y optimización tecnológica que ya hemos indicado con anterioridad.

---

<sup>55</sup> V. GARCÍA-ENTERO y R. ARRIBAS DOMÍNGUEZ (2000). “Los balnea de las villae y su proceso de monumentalización”, en actas del coloquio internacional de arqueología en Gijón.

<sup>56</sup> En muchas ocasiones este diseño es fruto de la evolución a partir de un modelo anterior que aprovecha las instalaciones e infraestructuras y las adapta a un nuevo tamaño y modelo.

No obstante, resulta interesante sintetizar los esquemas tipológicos que mayoritariamente se repiten, siguiendo las descripciones recogidas por numerosos investigadores<sup>57</sup> para establecer un sistema de representación capaz de identificar las salas y dependencias y el circuito generado a través de su uso. En muchas ocasiones estas tipologías obedecerán a situaciones socio-políticas y económicas que está viviendo el imperio y que marcarán una evolución clara en su avance hacia la creciente monumentalidad del edificio.

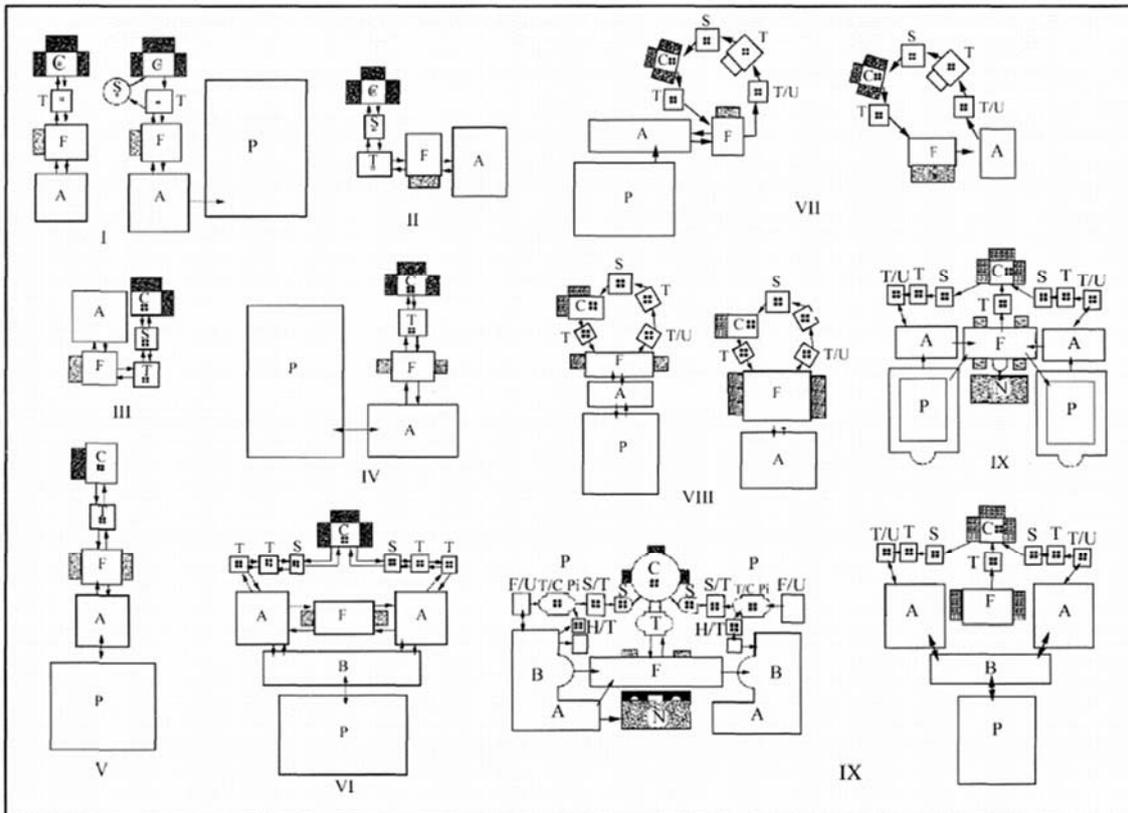


Ilustración 21. Tabla tipológica de los edificios termales a partir de Krencker, 1929, elaborada por Nielsen, 1990 (Fernandez y García 1999, 142).

Las termas más tempranas datadas en la península ibérica corresponden a la tipología de termas que Krencker en 1929 y posteriormente Nielsen en 1990 identificaron como termas lineales (fig. 1). Este tipo de baños tenía las salas más básicas o esenciales de una terma, seguidas la una de la otra: *apodyterium*, *frigidarium*, *tepidarium* y *caldarium*. En esta categoría de termas, había un pequeño *praefurnium* para el *caldarium*, mientras que el *tepidarium* se calentaba indirectamente, por proximidad al *caldarium*. En estas termas tempranas no se suelen observar los *tubuli* de las paredes, que no aparecieron en Italia hasta mitad del siglo I a. C., (Nielsen 1990, 67). En ocasiones, se observa la presencia de

<sup>57</sup> Krencher (1929), Brödner (1983), Nielsen (1990), Yegül (1992) y Fernández (1999).

una pequeña dependencia, *sudatio*, conectada a las salas más calientes. El *frigidarium*, comúnmente rectangular, solía tener una piscina al final, a diferencia de las termas romanas tempranas, que no tenían. En muchos lugares, hay una palestra con su correspondiente *natatio*. Estas termas de recorrido retrógrado son denominadas también de tipo pompeyano-campano, debido al origen de las termas Stabiae de Pompeya, donde se plasma el modelo arquitectónico esencial de los que serán los baños netamente romanos (Nielsen 1985)<sup>58</sup>. Una variante de esta primera tipología la constituyen los modelos de tipo lineal-angular, los cuales mantienen su circuito retrógrado, pero con un ángulo en el desarrollo de su recorrido.

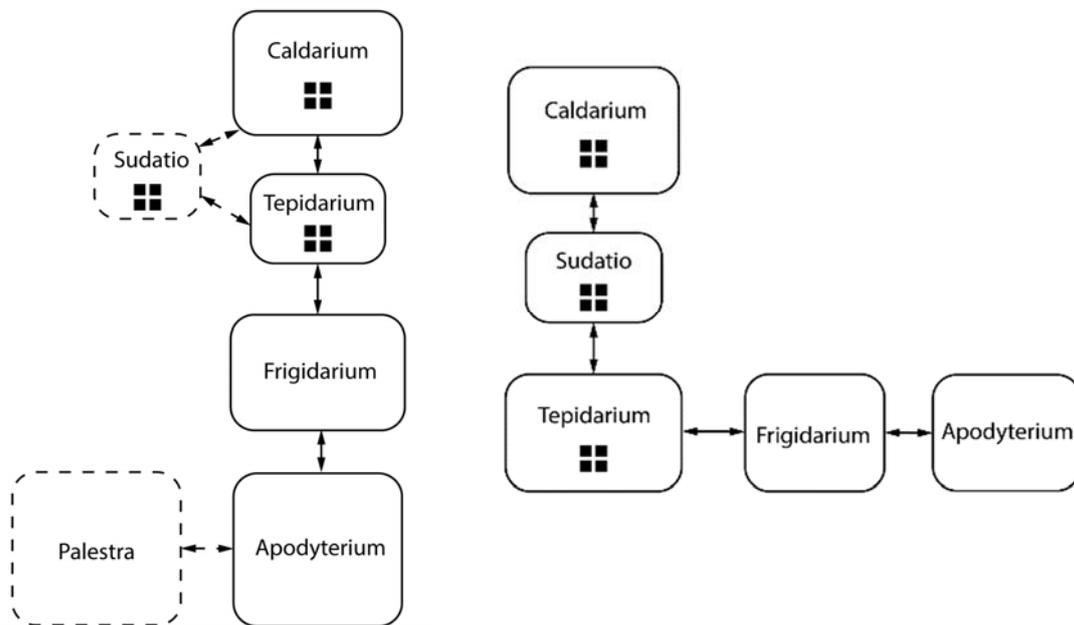


Ilustración 22. Esquema lineal y angular basado en Krencker (1929) y Nielsen (1990).

También sostiene Krencker (Fernández 1999, 142) la existencia de un segundo grupo de baños de mayor tamaño al que clasifica como termas de tipo anular y que hace su aparición a mediados del siglo I d. C. Se pueden identificar dos modalidades de esta tipología. Ambas completan el circuito termal de forma circular, es decir, no tienen que retroceder para completar el recorrido. Este modelo tuvo una menor difusión en el Imperio romano que la tipología anterior. En Hispania se conocen muy pocos casos de estas tipologías<sup>59</sup> pero dada la singularidad de su recorrido la hacen digna de mención.

<sup>58</sup> I. NIELSEN (1985). "Considerazioni sulle prime fasi dell'evoluzione dell'edificio termale romano", *Analecta Romana Instituti Danici*, 14, pp. 81-112.

<sup>59</sup> Las termas de los palacios de Itálica y los baños de Miróbriga (Fernández 1999, 142).

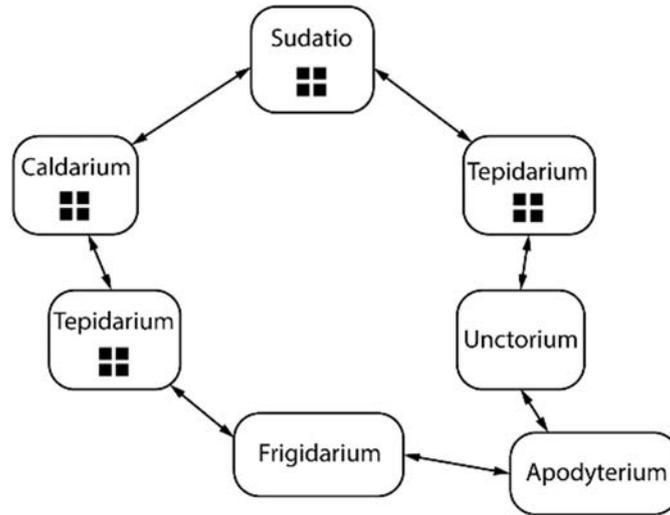


Ilustración 23. Esquema de terma anular, basado en Krencker (1929) y Nielsen (1990).

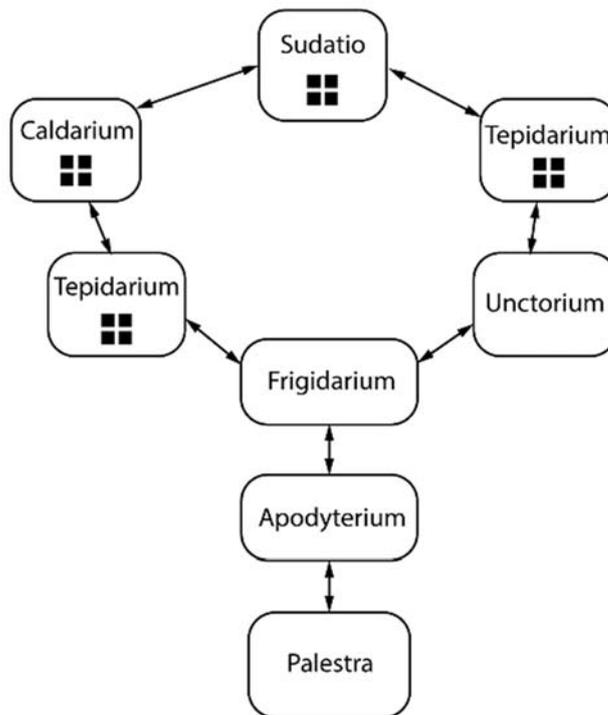


Ilustración 24. Esquema de terma axial en anillo, basado en Krencker (1929) y Nielsen (1990).

A partir de la entrada en el poder de la dinastía Flavia en el año 69 d. C., empieza a madurarse la idea de construir grandes edificios termales mayores que cualquiera de los edificios construidos hasta la fecha. Como ya se ha señalado, esta idea parte de Agripa, aunque aún debieron pasar casi 100 años para poder definir técnicamente una tipología

que pudiera hacer honor a la grandeza de los emperadores que la promovían, dignificando el conjunto termal como nunca se había visto hasta la fecha.

Esta variante ha sido denominada *imperial*, por el momento político en el que fueron edificadas. La singularidad arquitectónica de estos edificios radica en dos grandes conceptos. El primero, la simetría de sus instalaciones, duplicándose las salas a partir del eje que forman el *figidarium*, el *tepidarium* y el *caldarium*. La segunda, el tamaño y la escala de cada una de ellas, que las hace realmente grandiosas, casi desmesuradas, sobrepasando ampliamente las escalas de basílicas, los templos y cualquier otra construcción coetánea. Esta variante presenta numerosas variaciones de diseño en sus salas. En ocasiones se repiten gran cantidad de salas en detrimento de otras que no son consideradas necesarias en la distribución del circuito termal. Por ejemplo, en aquellas donde no suele haber palestra ni basílica, destaca la gran cantidad de salas calientes que se distribuyen alrededor de la zona donde se produce el fuego. Según Nielsen (1990, 73) las termas imperiales son la tipología más utilizada en las provincias del oeste, aunque también se utilizaran modelos menos ambiciosos cuando las ciudades de tamaño medio planteaban la construcción de sus termas. Seguramente esta heterogeneidad sea dada por la rápida divulgación y aceptación de la cultura termal en todos los territorios.

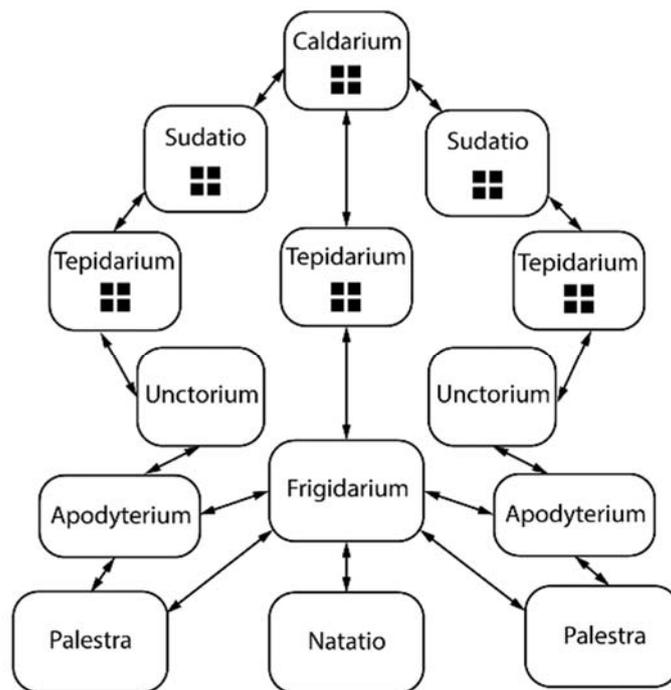


Ilustración 25. Esquema de terma tipo imperial, basado en Krencker (1929) y Nielsen (1990).

#### 1.4.4. Gestión

Sobre la gestión de las termas hay que indicar que existían cargos designados para esta labor. Se llamaban *ediles* en la época de la República y *conductores* durante la época del imperio. Las funciones consistían en recaudar las entradas, mantener la limpieza en todas las salas, supervisar en todo momento la temperatura correcta y encargarse de la gestión económica del mantenimiento del edificio.

Las termas grandes gestionadas por el Estado contaban a su vez con la figura del *curator aquarum*, encargado de la gestión de la red de abastecimiento de agua a la ciudad (Peña 2006, 349). Es de suponer que el trabajo más duro se realizaba en la zona de los hornos debido a la temperatura que se podía alcanzar cada vez que se alimentaban con la madera procedente de los árboles. Conviene recordar también que el resto de la instalación exigía un control higiénico estricto que debía ser realizado por esclavos que retiraban la suciedad que se generaba a causa del sudor y del vapor de agua y se acumulaba en el suelo o en las canalizaciones realizadas para permitir su evacuación. Todas estas tareas eran supervisadas por el *balneator*, quien tenía equipos de esclavos encargados de los trabajos más duros para poner en funcionamiento las termas.

Las termas del Imperio romano podían ser públicas (pagadas por el *fiscus* o por la propia ciudad) o de propiedad privada (*meritoria*). Únicamente las termas públicas solían tener nombres relacionados con los mandatarios, políticos, constructores o emperadores (Merten 1983, 11), aunque algunas de las privadas también lucían el nombre del emperador por haber sido quien autorizara su construcción, a pesar de no haber invertido dinero en la misma. Este tipo de gestos solía hacerse en la capital o en ciudades importantes y estratégicas, donde el emperador tenía mayor necesidad de celebridad (Nielsen 1990, 120). El coste de la construcción de una terma sobrepasaba con creces las posibilidades que una población podía conseguir mediante las entradas o impuestos, por esa razón existían las ayudas públicas que, dependiendo del rango de la ciudad, se otorgaban desde las administraciones romanas. Así, por ejemplo, se conoce el valor de construcción de la terma de Neptuno en Ostia Antica, cuyo valor ascendió a 2 millones de sestercios (Nielsen 1990, 121). Si se compara dicha terma (4.500 m<sup>2</sup>) con la superficie de las termas de Mura (3.600 m<sup>2</sup>) es posible hacerse una idea del coste del complejo, salvando las distancias de cambios de materiales, tipologías, etc., pudiendo llegar a ser de 1,6 millones de sestercios, es decir, unos 2,5 millones de euros<sup>60</sup>, aproximadamente.

---

<sup>60</sup> Se establece una equivalencia de 1 sestercio = 1,6 €, según la web [meridaromana.com](http://meridaromana.com). Consulta 04/2017.

Las termas de tutela privada necesitaban una licencia antes de su construcción y se permitía la compra y venta de dichos edificios cambiando así su propiedad. Por tanto, eran también una forma de negocio. Este tipo de termas solían lucir el nombre del propietario y eran consideradas como una de las economías vinculadas al sector servicios más importantes dentro de la ciudad.

Respecto al funcionamiento y mantenimiento de las termas, el mayor coste recaía sobre el combustible, que provenía, para las termas públicas, de los bosques del Estado, al que hay que añadirle el coste por el servicio de agua suministrada directamente desde el acueducto. Ambos podrían estar en el entorno del 5-6 % anual del coste de construcción de la terma. Respecto al mantenimiento de las instalaciones dependía de cada operación necesaria para su reparación, cambio o sustitución y podía estipularse en torno a un 4-5 % anual. Por último, habría que añadir los salarios de los empleados encargados en el correcto funcionamiento del complejo y aquellos que podían indirectamente ofrecer servicios como masajistas, cuidadores de ropa, etc. (Nielsen 1990, 122-123).

Normalmente se pagaba para entrar a las termas una tasa de admisión de la cual el emperador podía eximir a ciertos grupos o, en el caso de que el baño fuera privado, pagar él mismo dicha tasa. Existe mucha información al respecto que indica que algunas termas eran gratuitas, aunque normalmente la entrada era bastante asequible para un ciudadano medio<sup>61</sup>.

Con respecto a los horarios de apertura y de cierre, están muy vinculados con las horas solares y por tanto con las estaciones de invierno y verano. Es casos muy excepcionales se podían abrir antes de que saliese el sol o durante la noche, pero no era lo habitual. Por tal motivo, los horarios de apertura estaban muy ligados a las horas de sol, y por tanto de iluminación al complejo termal. La entrada podía hacerse alternadamente con horarios marcados para hombres y mujeres en los casos en los que se duplicaban las salas. De normal la apertura se avisaba mediante el sonido de una campana y tenía como hora de entrada la hora V (aproximadamente entre las 10:00 y las 11:00 de la mañana), aunque durante la ordenanza imperial se estipuló la hora VIII (13:30-14:30). La salida se estipulaba en torno a la hora XII (aproximadamente las 17:00-18:00) (Pasquinucci 1993, 25)<sup>62</sup>.

---

<sup>61</sup> Se solía pagar en la Lusitania medio sesterccio para entrar un hombre y un sesterccio para entrar una mujer, más o menos el precio del coste de un trozo de pan y un vaso de vino (Nielsen 1990, 132).

<sup>62</sup> M. PASQUINUCCI (1993). *Terme romane e vita quotidiana*. Franco Cosimo Panini. Bologna.



Ilustración 26. Detalle de un mosaico existente en la terma de Buticosis en Ostia Antica y que hace referencia al *balneator*.

#### 1.4.5. Implantación urbana de las termas

La implantación de una terma en una ciudad podía constituir un hito muy relevante desde el punto de vista de la planificación urbanística, en particular cuando se trataba de grandes complejos termales, pues las termas y baños domésticos resultaban más fáciles de acoplar a la trama preexistente, sin condicionar demasiado la misma. En el primer caso, la superficie necesaria de parcela y la necesaria proximidad, abundancia y facilidad de la acometida al servicio de agua disponible podían plantear bastantes dificultades. Es de suponer que en un primer momento a la hora de planificar un nuevo asentamiento de estas instalaciones se proyectarían en las zonas periféricas de la trama urbanística ya que podría perfectamente condicionar, en parte, el desarrollo de las demás

instalaciones de ocio y de servicio, como es el caso de los teatros, anfiteatros y el foro. Pero también podrían existir otros condicionantes muy importantes a la hora de pensar en una ubicación definitiva, como por ejemplo la orografía y la naturaleza del terreno, la presencia o cercanía de elementos anexos como santuarios o templos y, finalmente, la disponibilidad en las proximidades de los materiales de construcción necesarios, es decir, de las canteras y hornos de producción de cerámica.

Sin embargo, Vitruvio establece como primer condicionante la orientación del edificio, señalando que la elección del lugar de emplazamiento debe garantizar que se trate del lugar más cálido de la ciudad, al abrigo de los vientos septentrión y aquilón<sup>63</sup>. También aclara, insistiendo en ello, que los hornos para calefactar el agua caliente y templada deben tener sus ventanas orientadas al poniente invernal, o al menos lograr que les alcance el sol al mediodía, coincidiendo con la hora propicia de baño (Vitruvio, V, 11, I, 130).

La gran variedad de ubicaciones de las termas analizadas permite afirmar que el criterio de implantación dentro de la ciudad no se vio demasiado condicionado por la tratadística, ni por otras condiciones más allá de la eficacia y la tendencia a obtener la máxima funcionalidad de uno de los edificios más complejos de construir y mantener. Además, las termas evolucionaban paulatinamente en paralelo al propio proceso de evolución de las ciudades ya consolidadas (Fernández y García 1999, 141)<sup>64</sup>.

En la construcción de unas termas intervenían activamente las legiones y la ingeniería militar. Se encuentra muy extendida una hipótesis según la cual los ejércitos dedicaban parte de sus ingenieros, durante el periodo invernal, a la construcción de todo tipo de obras públicas, entre las que figuraban las termas. Además, la alta especialización requerida, sobre todo para los aspectos térmicos, hacía que tuviera mucha importancia la dedicación de mano de obra especializada. En el caso de los asentamientos militares (*castrum*), está perfectamente documentado su diseño y construcción mediante unos programas arquitectónicos que se plasman con la tipología típica para estos establecimientos termales, es decir, grandes áreas donde practicar entrenamientos, emplazados cerca de las murallas (Vega 2010, 300)<sup>65</sup>

---

<sup>63</sup> Vientos del norte y noreste. De normal los vientos considerados más fríos.

<sup>64</sup> C. FERNÁNDEZ OCHOA y V. GARCÍA ENTERO (1999). "Las termas romanas del noreste y de la meseta norte de Hispania. Los modelos arquitectónicos", *Archivo Español de Arqueología*, 72, pp. 141-166.

<sup>65</sup> T. VEGA AVELAIRA (2010). "Novedades sobre las Termas Legionarias en Britannia", en V Congreso de las Obras Públicas Romanas. *Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana*, pp. 299-324. Córdoba.

## 1.5. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES

Como ya se ha señalado anteriormente, los sistemas constructivos romanos vienen prefijados en su mayor parte por una evolución de las culturas que le preceden. Evidentemente es la civilización helénica la que nutre de una mayor técnica y composición a los romanos que, gracias a la utilización de nuevas formas y materiales, consiguen la evolución constructiva que les permite hacer la arquitectura tan sólida y tan bella que hoy en día podemos admirar. Hay que citar que, de las grandes civilizaciones, la romana es la primera que tiene un tratado de arquitectura y construcción escrito, donde se especifica el diseño, la composición, la ejecución, los materiales, tipologías edificatorias, técnicas decorativas, etc., marcando un hito que todos han intentado copiar y repetir. Este tratado, al mismo tiempo, generó la primera estandarización de una forma de construir y que fue divulgada en todas las zonas del imperio para que tuvieran un mismo sello y una misma apariencia. No es objeto de esta tesis el hablar de los Diez Libros de Arquitectura de Vitruvio ni de otros tratadistas o arquitectos que describen el mundo romano, pero sí es una intención describir aquellos aspectos generales que se relacionan con las construcciones de los edificios termales de la época romana.

En este apartado se tratarán algunos aspectos relativos a los materiales de construcción y las técnicas constructivas empleados para la construcción de las termas romanas, prestando particular atención a su forma, composición, dosificación y técnica de aplicación, en su caso.

En lo que respecta a las cimentaciones, Vitruvio aborda este aspecto en el cuarto capítulo del su libro tercero. Allí especifica las características del suelo que exigirá la dimensión y forma de la cimentación capaz de resistir el peso de la estructura, determinando que el grosor sea de  $3/2$  de la dimensión del muro que debe de soportar. Además, indica que para suelos con poca cohesión se tendrán que clavar estacas de madera uniéndolas y rellenándolas en las cabezas para permitir una sólida base que resista la estructura (Marín 1998, 69).

A partir de estas simples pero aclaradoras indicaciones, J. P. Adam (Adam 1996, 137) muestra con un mayor detalle las prescripciones que hay que observar al cimentar los edificios. Las distintas soluciones de puesta en obra de los materiales son muy dispares, y son el resultado de experimentar distintas formas y aparejos, ofreciendo muchas combinaciones en su diseño. La más común y usual se confeccionaba con una mampostería de sillarejos recibida con mortero de cal hidráulica, iniciándose con unas hiladas de mampuestos planos colocados de punta con el fin de asegurar el paso de las posibles aguas que puedan circular por filtración. Estas disposiciones se iban completando por hiladas con un tamaño decreciente hasta llegar a la base del muro. Son

muchos los ejemplos de estos cimientos que se han observado en las termas visitadas y que demuestran la disparidad de tipologías de sus aparejos, dimensiones y materiales. Estas estructuras, que de normal están enterradas y siempre al mismo nivel, manifiestan un cambio de cota en los complejos termales, sobre todo en los muros que delimitan los espacios calefactados, ya que es necesario una cota inferior al pavimento de acceso para permitir la circulación del aire caliente.

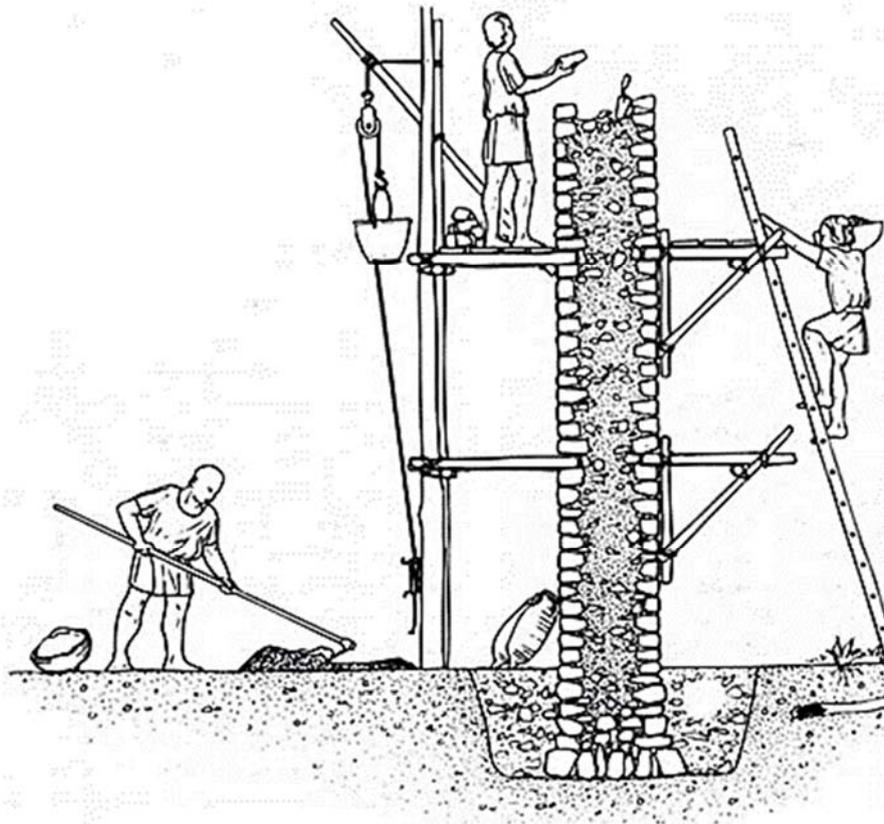


Ilustración 27. Detalle de ejecución de un muro compuesto mediante andamios empotrados en la masa del muro según J. P. Adam.

En cuanto a las estructuras murarias, los romanos generalizaron la utilización del *opus caementicium*, adaptando la técnica del *emplecton* griego, y la universalizaron para levantar sólidos muros de tres hojas y grandes bóvedas que cerraban los enormes espacios. La gran ventaja de este hormigón radicaba en la hidraulicidad que le confería la puzolana, haciendo que fuera extraordinariamente útil para los lugares con mayores dificultades de fraguado y endurecimiento como las zonas sumergidas o los grandes volúmenes, cuyo interior no tienen contacto con el aire exterior (Marín 1998, 64).

La puzolana necesitó también de un proceso de adaptación, experimentación y evolución antes de generalizarse su uso, hecho que se produjo hacia la segunda mitad del siglo I d. C. bajo el mandato de los emperadores de la dinastía Flavia. Castro afirma

que, en un principio y durante más de dos siglos, la puzolana se empleó sin cocer, mezclada con cal aérea, para rellenar el núcleo interior de los muros pues ahorra mortero de cal y facilitaba el fraguado, aun en el caso de trabajos en lugares húmedos (Marín 1998, 66). En el capítulo VI, del libro II, Vitruvio indica:

[...] Este polvo, mezclado con la cal y la piedra machacada, no sólo consolida toda clase de edificaciones, sino que incluso las obras que se hacen bajo el agua de mar tienen solidez [...] y se endurecen por instantes, y se consolidan tan intensamente en el líquido, que no bastan a separarlas o a disolverlas ni las olas ni la fuerza del agua.

Las aplicaciones del *opus caementicium* en las termas y baños se limitaban al relleno del núcleo de las grandes fábricas de piedra o de ladrillo. La funcionalidad de esta disposición obedecía a mantener las dos caras del muro con un material de revestimiento distinto al del núcleo, a modo de encofrado, de forma que economizaba el proceso edificatorio, resultando una fábrica más rápida y económica de construir, a la vez que resistente y sólida por la unión de las tres hojas.



Ilustración 28. Termas romanas de las bóvedas. San Pedro de Alcántara. Málaga.

El *opus incertum* fue el aparejo más simple y el más empleado durante la época republicana ya que permitía el mejor aprovechamiento de la piedra y una mayor facilidad en su montaje y colocación, al tener que labrar, solamente, una de sus caras. Los mampuestos se ordenaban ligeramente según los planos de corte de sus caras y se disponían sobre una capa de mortero de cal. La evolución de esta tipología pasó a

denominarse *opus reticulatum*, básicamente por generar una malla inclinada a 45 ° y disponer todas las piezas de una forma piramidal cuadrada cuya base formaba el paramento exterior y cuyas puntas se orientaban hacia el interior mezclándose con el *opus caementicium*<sup>66</sup>. La siguiente evolución en la disposición tipológica comporta un cambio de material, pasando a utilizar el ladrillo (*latere coctti*) cuando llega a generalizarse su fabricación a partir del siglo II d. C. El *opus testaceum* utiliza medios ladrillos cortados por la diagonal y dispuestos de forma triangular dejando el corte en el exterior y las esquinas en el interior de la fábrica.

Durante el periodo monárquico y justo antes del inicio de la época republicana, la forma más usual de construcción utilizaba únicamente la piedra colocada con diversas tipologías de aparejos. El *opus quadratum* era el tipo de muro realizado mediante sillares (*quadrati lapides*) de despiece regular y colocados directamente a hueso o sobre una pequeña base de mortero de cal. Estas piezas se colocaban en hiladas a sogas, aunque existían piezas distribuidas a tizón para trabar el muro por completo. Era el aparejo de mejor calidad usado para las grandes obras y el que daba un efecto de mayor solidez y grandeza debido al tamaño de los sillares.

Una variedad de esta tipología en la que se emplean los sillares de menor tamaño es el denominado *opus vittatum*. Este aparejo también fue usado para reforzar las esquinas en las construcciones que se realizaban con el *opus caementicium* o con las fábricas de ladrillo. El *opus spicatum* era una variación del *opus incertum* en la que el mampuesto de piedra se colocaba inclinándose de forma alterna, según las hiladas formando como un despiece de espigas. El uso de esta tipología se ha podido constatar normalmente en cimentaciones y en drenajes de suelo, tal y como lo hemos indicado anteriormente, y era una práctica muy frecuente de utilización en las termas debido al constante uso del agua en todas sus salas. Por último, queda por citar el *opus mixtum*, que corresponde al tipo de aparejo que empleaba en su confección mampuestos y material cerámico alternándose por hiladas y en todo su espesor.

---

<sup>66</sup> Está también muy utilizada la disposición del *opus reticulatum* con piezas de ladrillo manteniendo la forma de pirámides de base cuadrada.

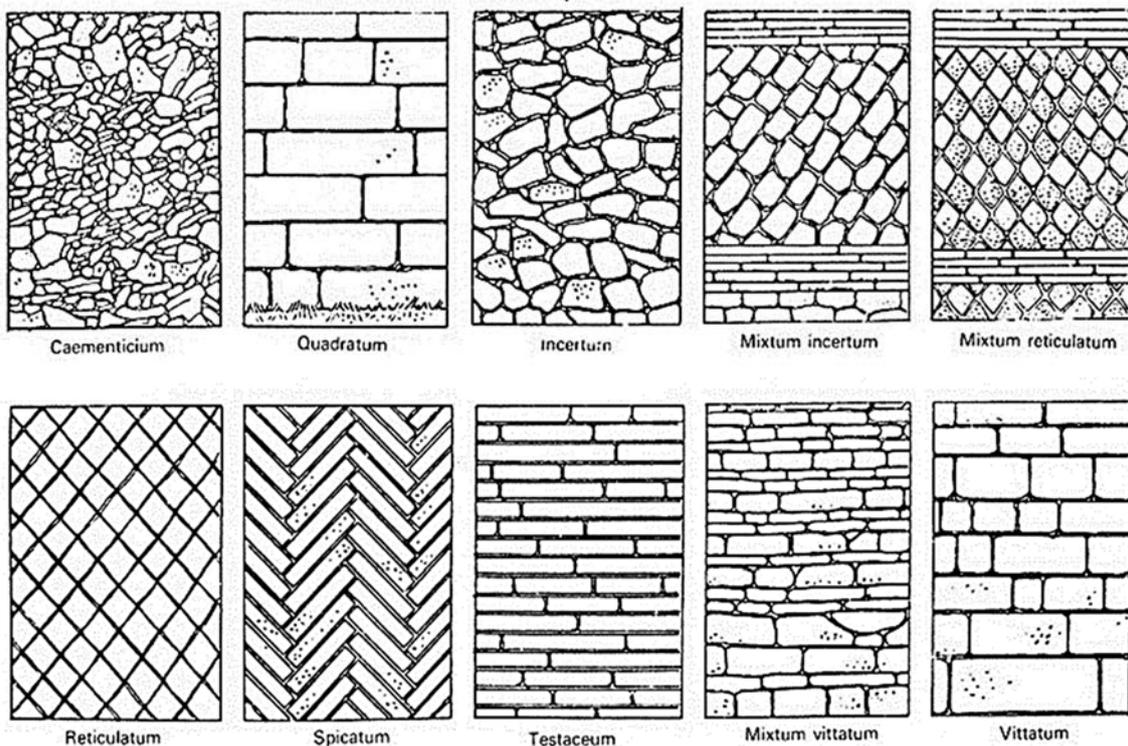


Ilustración 29. Distintos tipos de aparejos romanos, según J. P. Adam.

### 1.5.1. Piedra

La utilización de la piedra en los complejos termales tiene una doble misión, la estructural y la decorativa. En ocasiones, ambas funciones pueden ser obtenidas con el mismo material pétreo, pero no es lo usual, ya que normalmente, la obra de fábrica resistente, se solía realizar con la piedra más cercana al lugar de construcción, importando aquellas otras piedras destinadas a la decoración para generar el efecto de lujo y crear composiciones difíciles de obtener con la piedra autóctona. La elección del tipo de piedra dependía de muchos factores que variaban en función del comportamiento exigido y de las propiedades intrínsecas de la piedra. Vitruvio ya advierte de estos fenómenos y escribe (Vitruvio, II, 7, 1):

Las piedras blandas poseen la cualidad de que, después de extraerlas de las canteras, se manejan con toda facilidad. Si se colocan en lugares cubiertos, mantienen perfectamente el peso de la obra, pero si están en lugares abiertos al cielo, se desmenuzan y se deshacen debido a los hielos y a las escarchas; igualmente, junto a la costa del mar se disuelven carcomidas por el salitre y no resisten ni el oleaje ni las mareas [...]. Si queremos concluir las obras sin ningún defecto, deben prepararse las piedras de antemano de la siguiente manera: se extraerán las piedras en bruto con una antelación de dos años antes del momento de edificar; se extraerán en verano y no durante el invierno. Y

amontonadas en tierra se mantendrán a cielo raso. Las que durante estos dos años queden dañadas por los temporales, colóquense en los cimientos; las restantes, que estén intactas, como probadas por la misma naturaleza, darán solidez y firmeza en las construcciones que se levanten a lo alto.

Con estas descripciones podemos identificar los fenómenos de absorción, capilaridad, heladicidad tan conocidos hoy en día y que determinan que una correcta elección del material condiciona su comportamiento y durabilidad.

Otro aspecto que trata Vitruvio es la clasificación en función de la dureza del pétreo que va a ser trabajado. El arqueólogo J. P. Adam la ordena en seis tipologías: muy blanda, blanda, semi-compacta, compacta, dura y fría (Adam 1996, 23). Es decir, las areniscas y tobas como muy blandas, y los mármoles y granitos como duras y frías. El cantero romano elegía el frente donde extraer la piedra y marcaba el despiece e incluso el transporte hasta el lugar, manteniendo en todo momento el control sobre el material. La forma de corte y labra dependía en todo momento de la composición final del material, y se realizaba la mayor parte del trabajo en cantera para trasladar la pieza ya casi con la forma definitiva, por lo menos en dimensiones.

Entre las aplicaciones pétreas más exigentes para su utilización en las termas, estaba la del aplacado de piedra, sobre todo si esta era compacta, dura y resistente al corte, como el caso de los mármoles y granitos.

En el V congreso de obras públicas celebrado en Córdoba en el 2010 se presentó el hallazgo en Hierápolis, de un relieve esculpido sobre un sarcófago datado del siglo III d. C. en el que reproducía la máquina de cortar la piedra mediante un molino hidráulico que trasfiere la fuerza para que unas sierras puedan cortar la piedra con espesores pequeños. Con este hallazgo todavía es más evidente el desarrollo tecnológico que el mundo romano había alcanzado (Grewe 2010, 381-401)<sup>67</sup>.

---

<sup>67</sup> K. GREWE (2010). "La máquina romana de serrar piedra. La representación en bajorelieve de una sierra de piedra de la antigüedad, en Hierápolis de Frigia y su relevancia para la historia técnica", en *V congreso de obras públicas romanas. Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana*. Córdoba.



Ilustración 30. Relieve de una sierra doble de cortar piedra encontrado en el sarcofago de Marco Aurelio Amiano en Hierápolis. Autor: Klaus Grewe (Grewe 2010, 381).

### 1.5.2. Ladrillo

El ladrillo es el material al que los romanos supieron dar un mejor aprovechamiento en sus construcciones debido a la gran versatilidad que permitía su fabricación y ejecución. Como ya se ha comentado anteriormente su uso se generalizó en la época de los grandes emperadores y se llegó a normalizar sus tamaños y a diseñar muchos elementos constructivos con este material, denominando a esta tipología el *opus latericium*. Aunque existen ejemplos anteriores realizados con materiales no cocidos, como adobes (*crudus later*) documentados por Vitruvio, la mayor parte de las grandes termas fueron fabricadas con esta tipología, conjuntamente con la del *opus testaceum*, de forma que la visión que hoy tenemos de estos grandes edificios es de grandes fábricas de muros de ladrillo. Desde su origen, la dimensión del material fue fraccionada a partir de medidas antropomórficas ya que permitía una mejor distribución, traba e incluso economía en su ejecución. De esta manera, tenemos que a partir del *bessale* (más o menos la dimensión de una mano) surgió el *sesquipedale* (dos *bessales*), el *bipedalis* (tres *bessales*) y el *pedalis* la mitad de este último.

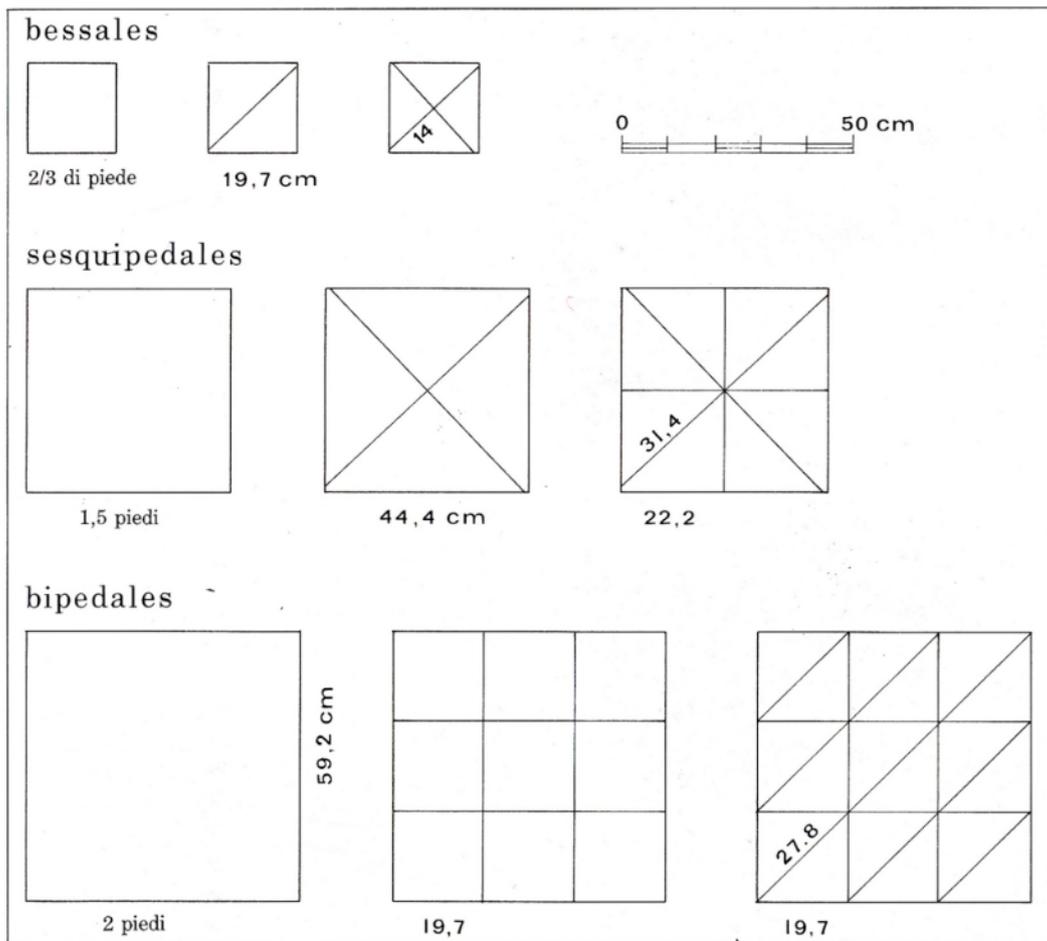


Ilustración 31. Despiece de los ladrillos a partir de la medida del pie. J. P. Adam (Adam 1996, 159).

También hay que indicar otros tipos que varían en sus dimensiones y que siguen otras reglas para obtener piezas que cumplan distintos cometidos funcionales. Así tenemos el *lidium* que tiene como dimensión de sogá 1,5 veces la dimensión del tizón y a partir del cual aparecen varias disposiciones como es la *tegula*, que presenta a ambos bordes de la sogá unos pequeños resaltes que pueden ser continuos si se emplean en zonas de cubiertas o discontinuos en los extremos de cada esquina si se utilizan como revestimientos de las salas calientes (*mammatae*), y el *imbrices* que tiene una forma cóncava con un extremo más cerrado que el otro. Algo más elaboradas son las piezas que forman los conductos de aireación y ventilación de las salas calientes, como el *tubuli* que forma un conducto rectangular o cuadrado y en ocasiones circular (*tubulli fittili*) que se dedicaba para fabricar espacios abovedados (Storz 1997, 28)<sup>68</sup>. No son muchos los

<sup>68</sup> S. STORZ (1997). *La tecnica edilizia romana e paleocristiana delle volte e cupole a tubi fittili*, p. 8. Milán, Electa.

ejemplos en Hispania, pero el investigador Josep María Rovira en su blog sobre la construcción de las termas de Ilturo (Cabrera de Mar) también lo documenta<sup>69</sup>.

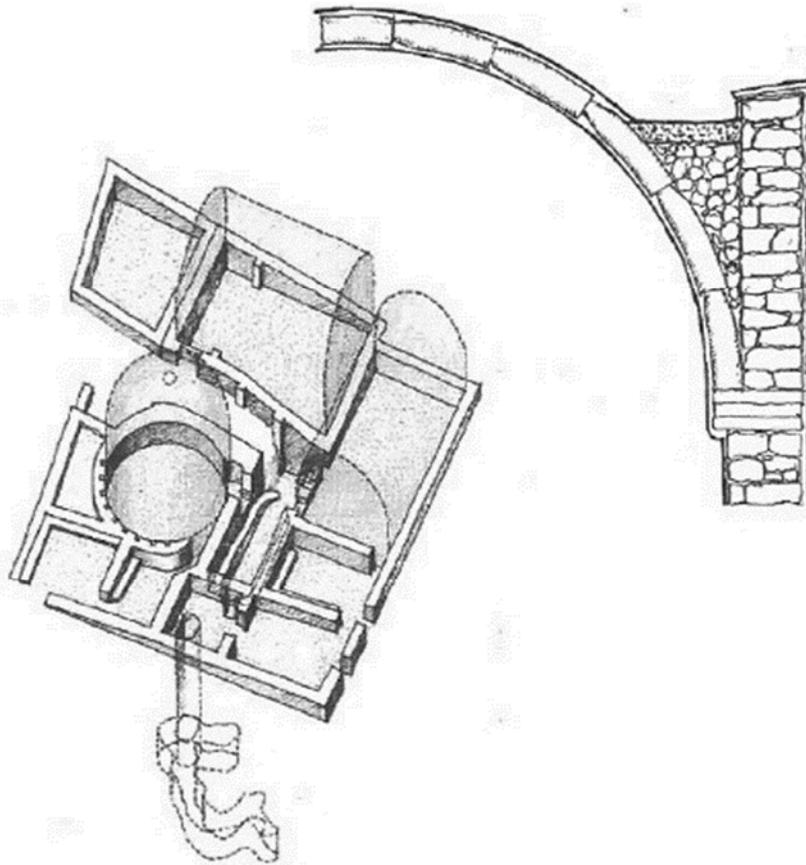


Ilustración 32. Detalle de construcción de una bóveda con *tubulli fittilli*. Autor: Acocella (2013).<sup>70</sup>

Los estudios tipológicos de los ladrillos a partir de la documentación consultada por la investigadora Fernández Ochoa (Fernández *et al.* 1999, 291-305) en la que cita las investigaciones realizadas por Brodribb en 1987 y Laubenheimer en 1990, entre otros, concluye con tres observaciones muy determinantes a la hora de definir el uso del material latericio en una terma. La primera identifica cada pieza por sus dimensiones y otorga a cada una de ellas una funcionalidad diferente. La segunda introduce datos para datar e identificar sistemas constructivos y sus fases de construcción. La tercera hace referencia a aspectos más concretos que se relacionan con los centros de producción y comercialización. En esta línea, el investigador Gisbert, determina la importancia de las

---

<sup>69</sup> Consulta 04/2017: √ [http://www.cabrerademarpatrimoni.cat/rt\\_01.html](http://www.cabrerademarpatrimoni.cat/rt_01.html).

<sup>70</sup> A. ACOCELLA (2013). *Stile laterizio II. I laterizi cotti fra Cisalpina e Roma*. Ensayo editado por la casa comercial Latercompound. Roma: Media MD, pp. 76. [http://www.latercompound.it/stile\\_laterizio/stile-laterizio-2.pdf](http://www.latercompound.it/stile_laterizio/stile-laterizio-2.pdf) . Consulta 02/2017.

pequeñas diferencias entre tamaños y e indica que son debidas a los centros de producción a partir de los cuales se suministra el material (Gisbert 1999, 9)<sup>71</sup>.

En el ámbito de la Hispania romana, la investigadora Fernández Ochoa y su equipo, y los investigadores Pizzo, Roldan, Graciani entre otros, han identificado con detalle la gran aportación que significó el material cerámico para la construcción de las termas, llegando a afirmar que la mayor parte de la producción latericia empleada en las ciudades era destinada a los hipocaustos de las termas, a los acondicionamientos de las salas calientes y al pavimento, canalizaciones y cubierta (Roldán 2008, 754)<sup>72</sup>. Por esta razón la mayor información de los materiales cerámicos estudiados en cualquier excavación arqueológica de un edificio termal proviene de las salas calefactadas, aunque también se utilicen en otros lugares del edificio (Fernández *et al.* 1999, 294)<sup>73</sup>.

Si se hace una descripción, pieza a pieza, de estas tipologías, tendremos una distribución que resulta acorde con la finalidad y el espacio en donde se sitúa. Así por ejemplo en la zona donde se produce el calor, en la boca del horno (*fornax*), las piezas se disponen siguiendo una generatriz circular, de forma que generan un espacio abovedado formado por piezas con dimensiones cercanas al ladrillo *ladium*, aunque se pueden emplear otros tipos como *bipedales* recortados. Era muy normal que estos espacios se ejecutaran con materiales refractarios (Carrillo 1990, 316)<sup>74</sup> o se realizaran con varias hiladas en paralelo para permitir un continuo mantenimiento, debido al deterioro que podía provocar la acción del fuego.

Degbomont, en su libro sobre hipocaustos (Degbomont 1984, 62), que más tarde será analizado en profundidad, ya estipula la tipología de la forma y disposición que debían tener estos hornos según se tratase de baños domésticos, de baños públicos o de grandes termas, cuantificando cada tipología en función de la cantidad de ejemplos encontrados en su estudio.

---

<sup>71</sup> J. A. GISBERT SANTONJA (1999). "El Alfar de L'Almadrava (Setla-Mirarosa-Miraflor), en Dianium. El ladrillo y sus derivados en la época romana", *Monografías de Arquitectura Romana*, 4, pp. 65-102. Madrid.

<sup>72</sup> L. ROLDÁN GÓMEZ (2008). "El material constructivo latericio en Hispania. Estado de la cuestión", en D. Bernal Casasola y A. V. Ribera i Lacomba (eds.): *Cerámicas hispanorromanas: un estado de la cuestión*, pp. 749-774. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.

<sup>73</sup> C. FERNÁNDEZ OCHOA, Á. MORILLO CERDÁN y M. ZARZALEJOS PRIETO (1999). "Material latericio en las termas romanas de Hispania", en M. Bendala Galán, C. Rico y L. Roldán Gómez (eds.): *El ladrillo y sus derivados en la época romana* (pp. 291-305).

<sup>74</sup> J. R. CARRILLO DÍAZ-PINES (1990): "Técnicas constructivas en la villa romana de El Ruedo (Almedinilla, Córdoba)", *Anales de Arqueología Cordobesa*, 1, pp. 81-108.

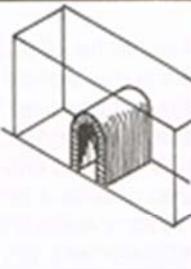
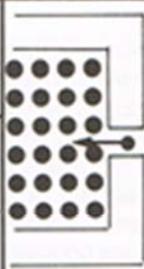
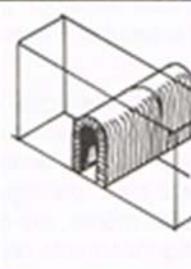
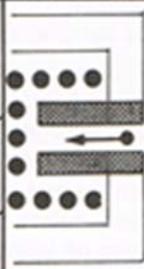
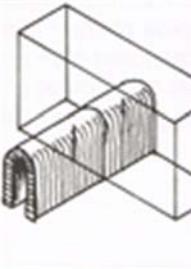
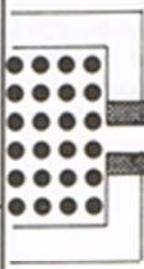
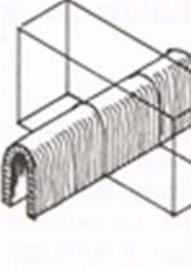
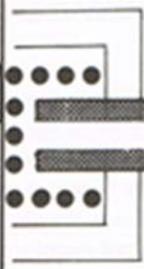
Type	Perspective	Plan	Définition	61 Foyers = 100%
I			Le feu est attisé dans le mur de la chambre de chaleur (pas de canal de chauffe)	57.3%
II			Foyer dans le mur de la chambre de chaleur avec canal de chauffe intérieur.	27.8%
III			Foyer extérieur sans canal de chauffe intérieur.	4.9%
IV			Foyer à l'extérieur de la chambre de chaleur + canal de chauffe intérieur.	8.1%

Ilustración 33. Tipos de hornos en el caso de baños domésticos (FCD) (Degbomont 1984, 62).

En pocas ocasiones se constata que el suelo del hipocausto (*area*) estaba pavimentado con ladrillos<sup>75</sup>, aun siendo una de las indicaciones canónicas que marca Vitruvio en su libro V, capítulo XI (Vitruvio 1985, 130)<sup>76</sup>. Tan solo se puede constatar en pocas termas como las de Miróbriga (habitación 11 de las termas del Oeste) y en el *tepidarium* de Gijón.

<sup>75</sup> Según documentan Fernández (Fernández, García, Morillo y Zarzalejos 1999, 295) en “Material latericio en las termas de Hispania”, se encuentran en las termas del oeste en Miróbriga y las Augusteas de Coninbriga.

<sup>76</sup> Según Vitruvio marca como dimensiones “pie y medio” entendiéndose que corresponden con las piezas denominada *lydium*, y que son las que se encuentran en las termas de Miróbriga y Coninbriga.

Sí que resulta más usual pavimentar la zona donde se produce el fuego, tal y como sucede en las termas de Mura, mediante ladrillos *bipedalis*.

El material con el que se confecciona el sistema de sustentación del *hypocaustum* es bastante interesante desde un punto de vista formal, debido a la heterodoxia de la elección tanto de la forma de las piezas de ladrillo como de su colocación. Básicamente se han detectado dos sistemas: el formado por pilares (*pilae*) y el formado por arcos. El primero utiliza ladrillos *bessale* y los apila mediante una capa de mortero de cal hasta conseguir una altura aproximada de 60-80 cm como máximo, siguiendo las indicaciones que marca Vitruvio en su libro V, capítulo XI (Vitruvio 1985, 130)<sup>77</sup>. La dimensión de estas piezas oscila entre los 18 y los 24 cm de lado, coincidiendo con los datos medios que señala G. Brodrigg para el caso británico (Brodrigg 1987, 34). Dentro de las variaciones de forma que pueden encontrarse hasta la fecha en estas piezas, aparece la realizada con piezas circulares enteras<sup>78</sup> o partidas en dos<sup>79</sup>, y la que se realiza mezclando piezas circulares y cuadradas dentro de un mismo hipocausto, entre otras muchas propuestas (Fernández *et al.* 1999, 296)<sup>80</sup>.

Merece especial atención la solución ejecutada mediante la sucesión de arcos de medio punto, primero por lo singular de esta disposición y segundo porque se trata de la solución adoptada en las termas de Mura<sup>81</sup>. La singularidad radica en la funcionalidad térmica que tiene el sistema, ya que genera una mayor dificultad al paso del aire caliente en comparación con el sistema construido mediante *pilae*, aunque por el contrario mejora la estabilidad de las piezas que apoya. Para generar estos arcos los romanos utilizan una pieza diseñada a propósito denominada *cunneati*. La particularidad de esta pieza radica en el grosor decreciente entre los extremos de la misma, de forma que permite generar una curva cuando se van apilando las piezas de manera que la capa de mortero que se coloca entre ellas siempre tiene el mismo espesor.

---

<sup>77</sup> Vitruvio indica dos pies y que el material con el que se reciben se mezcla con arcilla y “pelo”.

<sup>78</sup> Ejemplos encontrados en las termas de Ilici (Elche).

<sup>79</sup> Terma de Carteia (San Roque, Cádiz) (Graciani 2007, 1168).

<sup>80</sup> Se indican otras alternativas para la realización de los *pilae*, como son el caso de ladrillos rectangulares (*lydion*) usados en las termas Trajaneas de Conimbriga, utilización de ánforas como el caso de las termas de Valentia, o columnas de piedra como el caso de la sala C2 de los Bañales.

<sup>81</sup> Fernández identifica 25 salas realizadas con esta disposición, entre las que no se encuentran las termas de Mura objeto de esta investigación.

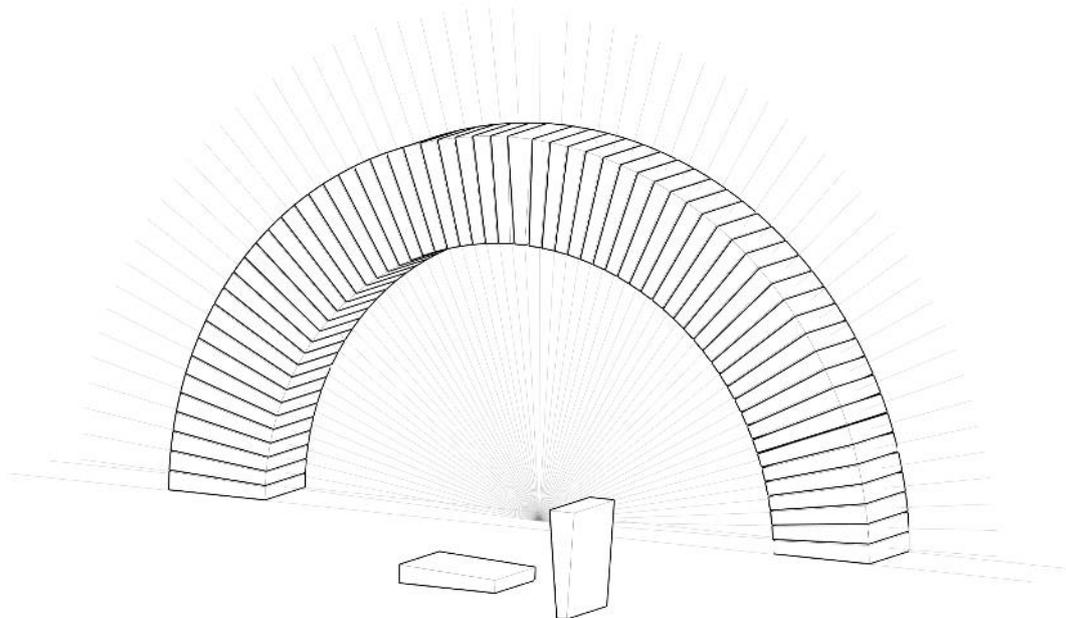


Ilustración 34. Detalle de los arcos de suspensión para el apoyo de la suspensura de las termas de Mura confeccionados mediante ladrillos *cunneatti*.

El pavimento de las salas calientes (*suspensura*) está formado por varias capas de diferentes materiales. La primera es la constituida por una pieza que pueda resistir las solicitaciones propias de un pavimento apoyado por los extremos. Este tipo de ladrillo se denomina *bipedalis*, y corresponde al formato cerámico con un mayor peso y dimensión, fabricado para resolver una mayor distancia entre los apoyos y resistir, a su vez, las cargas del pavimento. El apoyo puede realizarse en las cuatro esquinas cuando se coloca sobre un *pilae* o en los dos extremos laterales cuando se trata de arcos, de forma que las solicitaciones a flexotracción van a tener que ser absorbidas, en parte, por la gran inercia del grosor de la pieza<sup>82</sup>. Una alternativa al *bipedalis*, aunque no muy frecuente, es utilizar las piezas *imbrices* directamente sobre los arcos, tal y como sucede en las termas Oeste y Orientales del Miróbriga, o en Campo Valdés en Gijón<sup>83</sup>.

La segunda capa estaba formada por un relleno de hormigón de cal destinado a regularizar la superficie y permitir la distribución y el agarre del pavimento de sala. Esta capa recibe el nombre de *opus signinum* y en la confección de esta masa se emplean restos de ladrillos y tejas cerámicas machacadas y amasadas con muy poca agua, que se aplican mediante presión de un pisón o cualquier utensilio capaz de generar compacidad en la masa. Estas dos características, la presencia de puzolanas en la cerámica y la

<sup>82</sup> Ya se ha indicado que existen variaciones sustanciales entre las piezas según las zonas, pero el grosor de los *bipedalis* solía ser de 7 a 9 cm.

<sup>83</sup> En este caso siempre se realiza sobre apoyos realizados con arco de medio punto y nunca sobre *pilae*.

compactación con el pisón, hacían de la masa resultante un material compacto, resistente e impermeable, algo muy importante debido a la presencia constante de agua, tal y como relata Plinio el Viejo en su libro XXXV del *Naturalis historia*.

La tercera capa y acabado final del pavimento podía estar resuelta mediante un aplacado de cualquier tipo de piedra natural (normalmente mármol) o generando un mosaico (*opus teselatum*), aunque en ocasiones también se podría resolver mediante piezas cerámicas romboidales de pequeñas dimensiones formando el típico aparejo en espiga tan característico en los suelos romanos. También hay casos en los que la segunda capa realizada con *opus signinum* se queda sin revestir generando una superficie lo más plana e impermeable posible.



Ilustración 35. Detalle del *hypocaustum* en las termas de Baelo Claudia (Cádiz).

Otro de los puntos clave donde se emplea el material cerámico es la *concameratio*, espacio situado entre los muros estructurales y el revestimiento exterior que permite la ascensión del aire caliente desde el hipocausto y que genera el mecanismo funcional que permite calefactar las salas. La *tubulatura* de los muros se desarrolló en el curso de la segunda mitad del siglo I a. C. (Nielsen 1990, 14). Vitruvio la menciona en su tratado, pero no en el contexto de los baños, sino para el aislamiento de los murales. Básicamente existen dos formas de realizar esta cámara.

La primera mediante placas de cerámica (*tegula*) de dimensiones cercanas al *lydion* aunque existen de muchas dimensiones y variaciones formales, como las que incorporan unas pequeñas pestañas (*tegula mammatae*) que sirven de separación para crear el espacio por donde circula el aire. Estas piezas se adherían primero con mortero y luego se aseguraban con clavos o ganchos metálicos e incluso con piezas cerámicas al soporte, para evitar que se pudieran desprender.

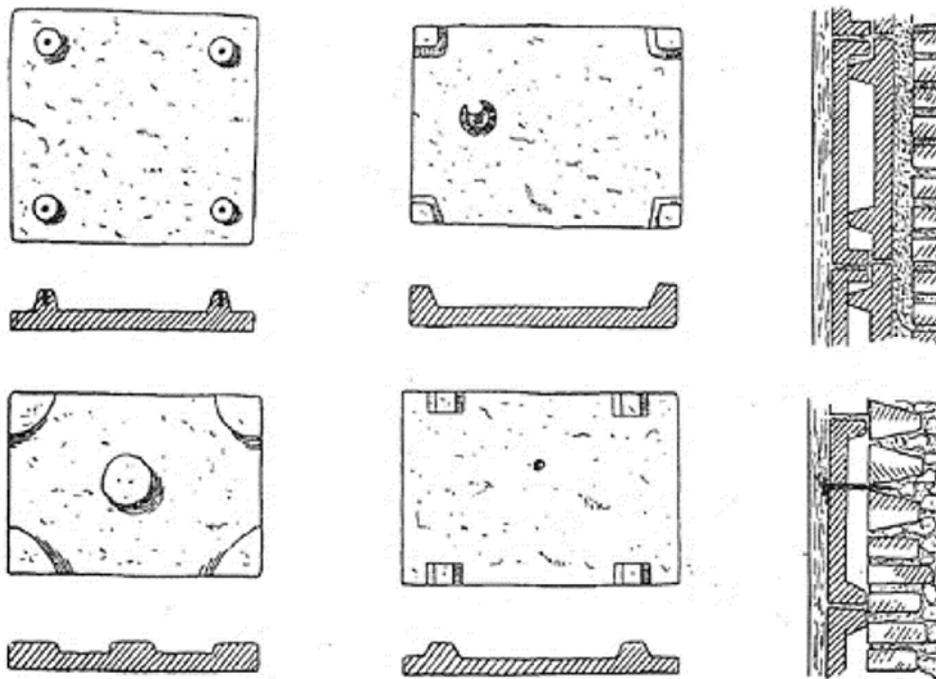


Ilustración 36. Tipo de *tegulae mammatae* para la formación de las cámaras por donde circula el aire caliente (Lugli 1957). Extraído del libro de Alfonso Acocella (Acocella 2013).

La segunda disposición se realiza mediante la unión de piezas machihembradas de forma cuadrada o rectangular<sup>84</sup> a modo de pequeñas chimeneas intercomunicadas entre ellas y que se anclan a las paredes mediante clavijas metálicas. A esta disposición se le denominó *tubulli* ya que estaban confeccionadas con piezas que se asemejan a tuberías y canalizaciones. En el caso de no existir estas cámaras, la ventilación desde el hipocausto se realizaba en vertical mediante chimeneas de formato pequeño situadas normalmente en las esquinas de las salas hasta la salida que se practicaba en la cubierta o en los puntos más altos de las fábricas de los muros.

<sup>84</sup> Aunque también existen casos en forma circular, como hemos visto anteriormente en los casos de *tubulli fittili*.

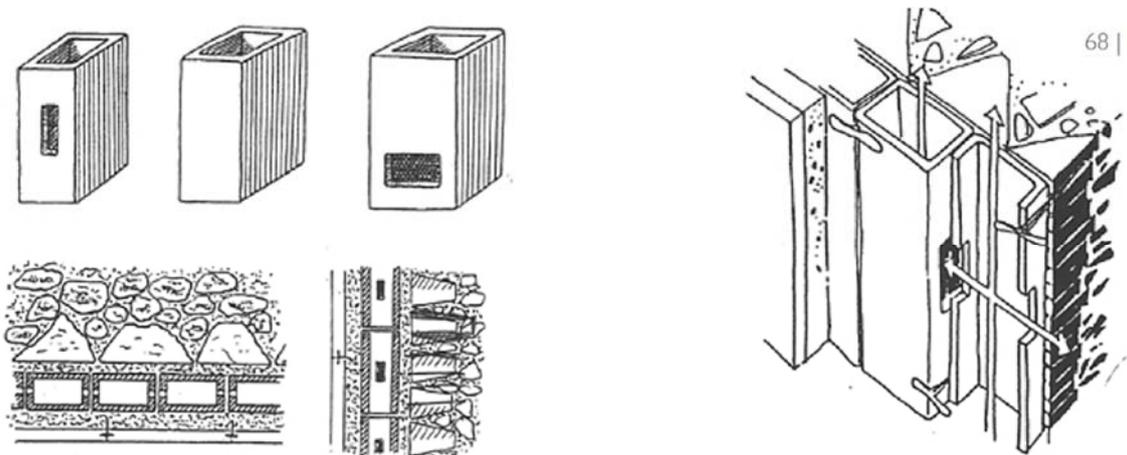


Ilustración 37. Tipo de *tubuli fittili* para la formación de las cámaras por donde circula el aire caliente (Lugli 1957). Extraído del libro de Alfonso Acocella (Acodella 2013).

En ocasiones las cámaras de aire también recorren los techos de las estancias calientes pequeñas hasta que encuentran la salida hacia el exterior. En estos casos las *tegula* se sujetan mediante piezas de hierro en forma de T clavadas en las vigas de madera que confeccionan la estructura del falso techo de la estancia.

El revestimiento utilizado sobre estas piezas estaba compuesto de distintas capas de mortero (normalmente tres capas de 1 cm de espesor) confeccionadas con arenas de granulometría descendiente e incluso con presencia de restos de ceniza y arcilla molida. En ocasiones era muy usual el revestir las paredes con frescos directamente sobre estos morteros (Guiral 2000, 115-121)<sup>85</sup> o colocar aplacados de piedras naturales anclados con piezas metálicas.

<sup>85</sup> C. GUIRAL PELEGRÍN (2000). “Decoración pictórica de los edificios termales” en *II Coloquio internacional de Arqueología en Gijón. Termas romanas en el Occidente del Imperio*. Gijón.

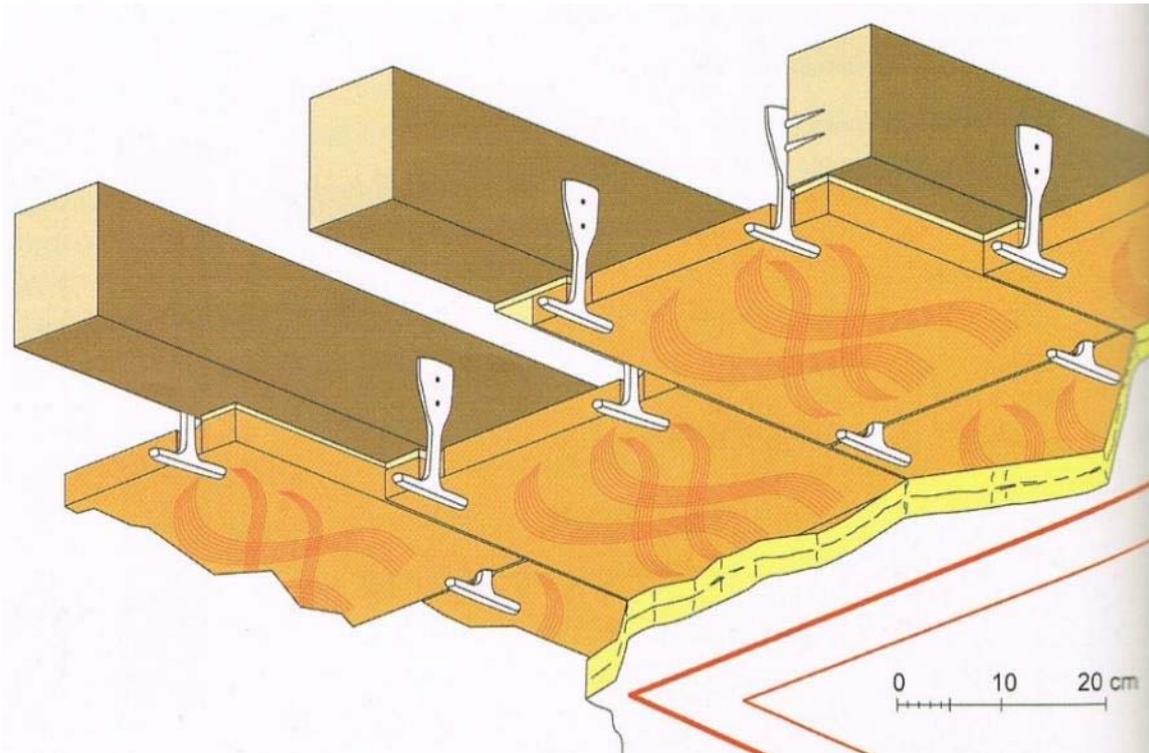


Ilustración 38. Detalle del falso techo realizado con *tegulae*, ancladas a la estructura del forjado en las termas de Vieil-Évreux (Eure). Autor: Christophe Loiseau. Extraído de la revista *Dossiers d'archéologie. Les thermes en Gaule Romaine*.

En el caso de grandes estancias era habitual la formación de sistemas abovedados que resolvían estructuralmente la cubrición del espacio. A. Choisy, en 1873, describe en su libro *El arte de construir en Roma* este sistema que precisamente es el utilizado en las termas de Caracalla (Choisy 1999, 60). Se construía con la ayuda de una cimbra o medio auxiliar que permite sujetar los *bipedalis* formando un sistema de bóveda tabicada cimbrada, sobre la que se iba disponiendo una capa de *bessales*, introduciéndose piezas a tizón a modo de trabas para que aseguren la adherencia y empotramiento con el relleno de hormigón de cal. También describe la solución de encuentro entre bóvedas de forma que generan una arista con el corte de las piezas de *bipedalis*.

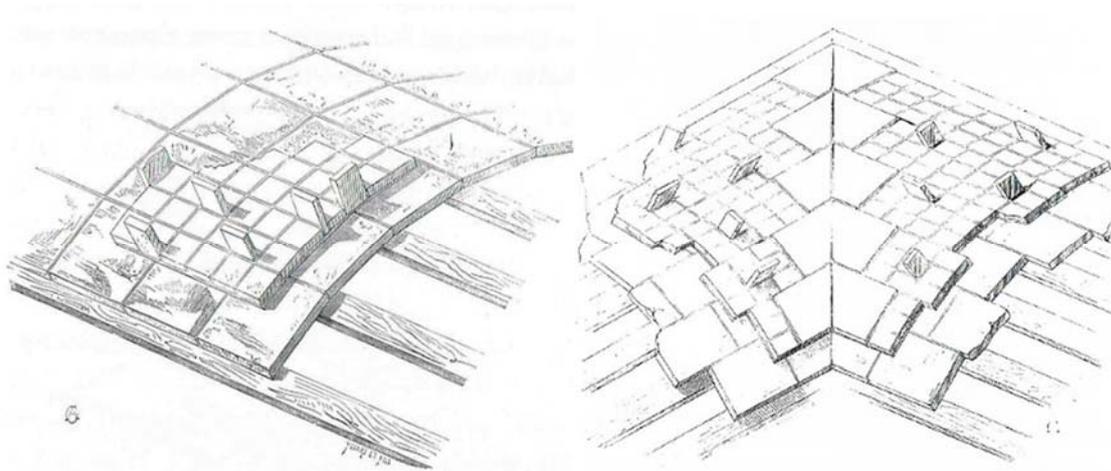


Ilustración 39 y 40. Detalle de bóvedas tabicadas cimbradas en las termas de Caracalla (Choisy 1999, 55, 67)<sup>86</sup>.

En el caso de dependencias abovedadas más pequeñas, se solucionaba tal y como indica Vitruvio (Vitruvio, V, 11, 131) disponiendo unas varillas de hierro sobre las que se iban apoyando las piezas cerámicas.

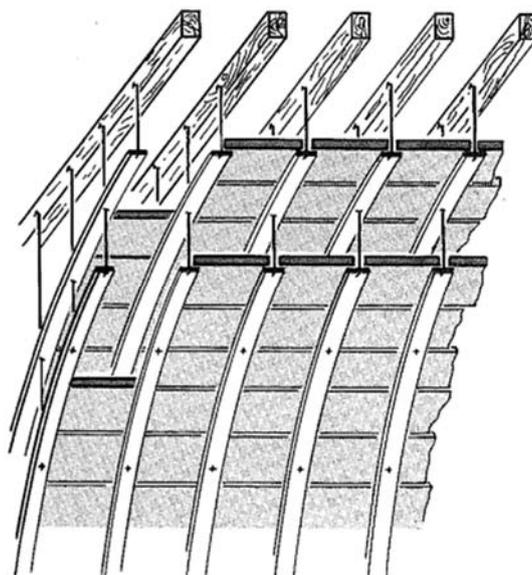


Ilustración 41. Detalle de A. Choisy de las bóvedas en las termas según las indicaciones de Vitruvio (Choisy 1999, 55, 67).

Mención aparte merece la solución resuelta mediante los denominados “ladrillos clavados”, *briques claveaux* según denomina Fincker en sus investigaciones

<sup>86</sup> A. CHOISY (1999). *El arte de construir en Roma*. Edición a cargo de Santiago Huerta y Francisco Javier Girón. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

(Fincker 1986, 143-150)<sup>87</sup>. Se trata de una evolución de una *tegulae* a la que se le practicaban cortes para darle una forma trapezoidal y generar un sistema de encaje que permite varias posibilidades de uso entre las que se encuentra la más extendida y funcional descrita por P. Brevis en las termas de Chester, en la que se generó un espacio que comunicaba con la *concameratio* permitiendo la circulación del aire.

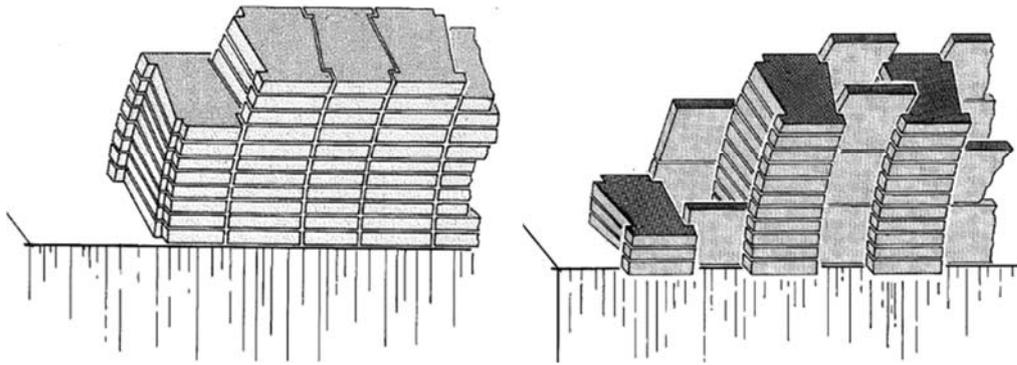


Ilustración 42. Detalle de M. Finker siguiendo las indicaciones de M. Ponsich y de P. Brevis en la utilización de ladrillos clavados (Fincker 1986, 148).

Para concluir con la utilización del material cerámico empleado en las termas, cabe detallar su aplicación en cubiertas. Resultó muy habitual el uso de *tegulae* con borde en los extremos mayores y con dimensiones distintas en los extremos menores, de forma que permitieran el encaje de unas sobre otras para evacuar el agua con mayor facilidad. Las uniones longitudinales entre las *tegulae* se resolvían con piezas cóncavas *imbrices* recibidas con morteros de cal, de manera que repartían el agua a ambos lados permitiendo la evacuación hacia las *tegula*.

---

<sup>87</sup> M. FINCKER (1986). "Les briques claveaux: Un matériau de construction spécifique des thermes romains", *Revue Aquitania*, 4, pp. 143-150.

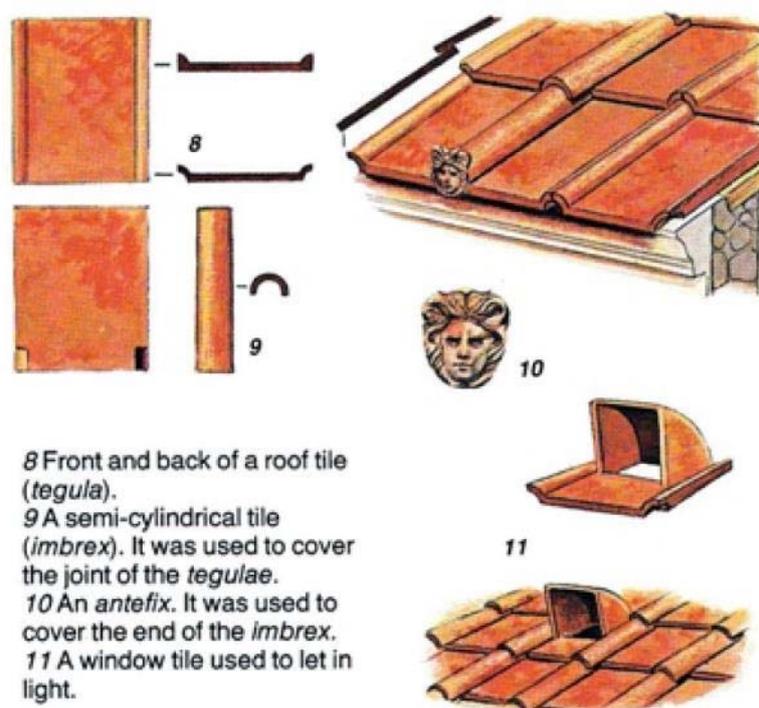


Ilustración 43. Detalle de las piezas cerámicas de la cubierta. *Tegula* e *imbrices*. Extraído del libro *Pompeii* de Peter Connolly (Connolly 1994, 28)<sup>88</sup>.

### 1.5.3. Metal

Los romanos trabajaron con varios tipos de metales, aunque era el hierro forjado el que utilizaban más a menudo para trabajos estructurales. Algunas de las piezas que se fijaban verticalmente a la pared, como las *tegulae* y las *tegulae mammatae*, se anclaban con piezas metálicas que hacían las veces de ancla y de separador. Algunas de estas piezas metálicas tenían forma de clavos, forma de T, e incluso forma de pinzas para poder sujetar las piezas, dejando espacio entre ellas y la superficie del muro estructural (Harvey 2011, 7 y Graciani 2009). En ocasiones, estos anclajes se realizaban con cerámica, pero al imponerse el uso de los anclajes metálicos, se acabaron empleando unos distanciadores cilíndricos con forma de rodillo por los que se introducía el anclaje metálico, dejando el hueco necesario entre la cabeza del anclaje metálico y el espaciador cerámico (Yegül 1992, 366; según Harvey 2011, 11). Los *tubulli*, dado que se colocaban apilándose uno sobre el otro, redujeron la necesidad de añadir pinzas y clavos de metal, aunque en ocasiones también se utilizaban (Brodribb 1987, 73; y Yegül 1992, 363; según Harvey 2011, 11).

<sup>88</sup> P. CONNOLLY (1994). *Pompeii*. Oxford University Press.

El cobre y su aleación con el estaño (bronce) fueron los materiales más usados para confeccionar los depósitos donde se almacenaba el agua. En ocasiones estos depósitos estaban emplazados sobre los hornos para permitir el calentamiento del agua que posteriormente se canalizaba hasta las piscinas y *alveus*. Era un material fácil de obtener, tanto por su facilidad de manipulación como por la abundancia de cobre (por lo general calcopirita o malaquita) y estaño (casiterita). También era frecuente su empleo en piezas más pequeñas y destinadas a cortar el suministro en las tuberías o a generar conductos en fuentes, aunque la conexión con otros metales podría producir la corrosión galvánica y la destrucción de uno de ellos<sup>89</sup>.

El plomo (*plumbum nigrum*), dada su abundancia en la naturaleza, su maleabilidad, su fácil obtención y sencillo conformado gracias a su bajo punto de fusión, su ductilidad para adaptarse fácilmente, y sobre todo su gran resistencia a la corrosión, fue el material utilizado para las canalizaciones y depósitos encargados de almacenar o transportar el agua. Además, es un material de fácil reaprovechamiento, que permitía el reciclaje y la reparación de forma muy simple y económica. Sin embargo gozaba de mala fama por su toxicidad, que ya fue advertida por el médico Dioscórides en su obra *De Materia Medica*. El mismo señalaba que el plomo hace “la mente perezosa” y Plinio el Viejo describe en sus escritos las máscaras con las que trabajaban los mineros (Robles-Osorio y Sabath 2014, 89)<sup>90</sup>. Vitruvio en su libro (Vitruvio, VIII, VI, 219) también resulta muy explícito:

[...] el agua conducida por tubos de barro es mucho más salubre que la que llega por tubos de plomo, pues el plomo resulta más perjudicial ya que facilita la presencia de la cerusa que, según dicen, es nociva para el cuerpo humano. Si pues lo que genera el plomo es perjudicial, no cabe la menor duda de que también el plomo será nocivo. Podemos aportar el ejemplo de los que trabajan con plomo y observaremos que tienen la tez completamente pálida. Cuando se funde el plomo, el vapor que despiden va penetrando por todos los miembros del cuerpo y va minando la energía de la sangre. En conclusión, no parece conveniente usar tuberías de plomo para conducir el agua, si queremos que sea salubre.

---

<sup>89</sup> La corrosión galvánica provoca la corrosión de un metal cuando está en contacto con otro y en presencia de un electrolito o medio húmedo. Las corrosiones se manifiestan según el índice anódico de cada material y el medio en el que se encuentran, de forma que el cobre o bronce al ser más noble destruye al plomo y al hierro, que tienen unos índices anódicos mayores.

<sup>90</sup> M. L. ROBLES-OSORIO y E. SABATH (2014). “Breve historia de la intoxicación por plomo: de la cultura egipcia al renacimiento”, *Revista de Investigación Clínica*, 66 (1), pp. 88-91.



Ilustración 44. Tuberías de plomo del museo de Cesaragusta.

A pesar de la evidencia de que el Imperio romano estaba muy expuesto a altas concentraciones de este metal, es muy complicado determinar que sea la causa que provocara la decadencia del imperio, aunque muchos investigadores así lo determinan, debido en parte a que no se ha probado la presencia de este metal en los análisis practicados a los restos humanos investigados (Robles-Osorio 2014, 90).

#### 1.5.4. Vidrio

El vidrio se empleaba básicamente en las ventanas de las salas, aunque existen indicios de que podría haber sido usado también para revestir paredes y como material para formar mosaicos (Ortiz y Paz 1997, 438)<sup>91</sup>. La datación más aproximada de la utilización del vidrio arquitectónico en occidente se produce en Italia a finales del siglo I a. C. (Grose 1989, 357-358; según Ortiz 1997, 437), coincidiendo con la implantación de las primeras factorías de vidrio y compartiendo protagonismo con otros materiales como el *lapis specularis* que era el material utilizado hasta el momento (Forbes 1966a, 187; según Ortiz 1997, 437).

Su uso se fue intensificando, sustituyendo o alternando con otros materiales de inferior calidad a los que desbancó poco a poco, ocupando un papel protagonista en este ámbito, al elegirlo como mejor material para cerrar los espacios destinados a aumentar la carga

---

<sup>91</sup> M. E. ORTIZ PALOMAR y J. PAZ PERALTA (1997). “El vidrio en los baños romanos”, en actas de *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular. Arnedillo (La Rioja)*, pp. 437-451.

térmica<sup>92</sup> o lumínica. No es muy frecuente la aparición de restos en las excavaciones que atestigüen la utilización de vidrios debido a su extrema fragilidad ante golpes o presiones, pero los testimonios escritos de Plinio el joven, Seneca y Luciano corroboran el uso y ventajas de su utilización en los complejos termales (Ortiz 1997, 439).

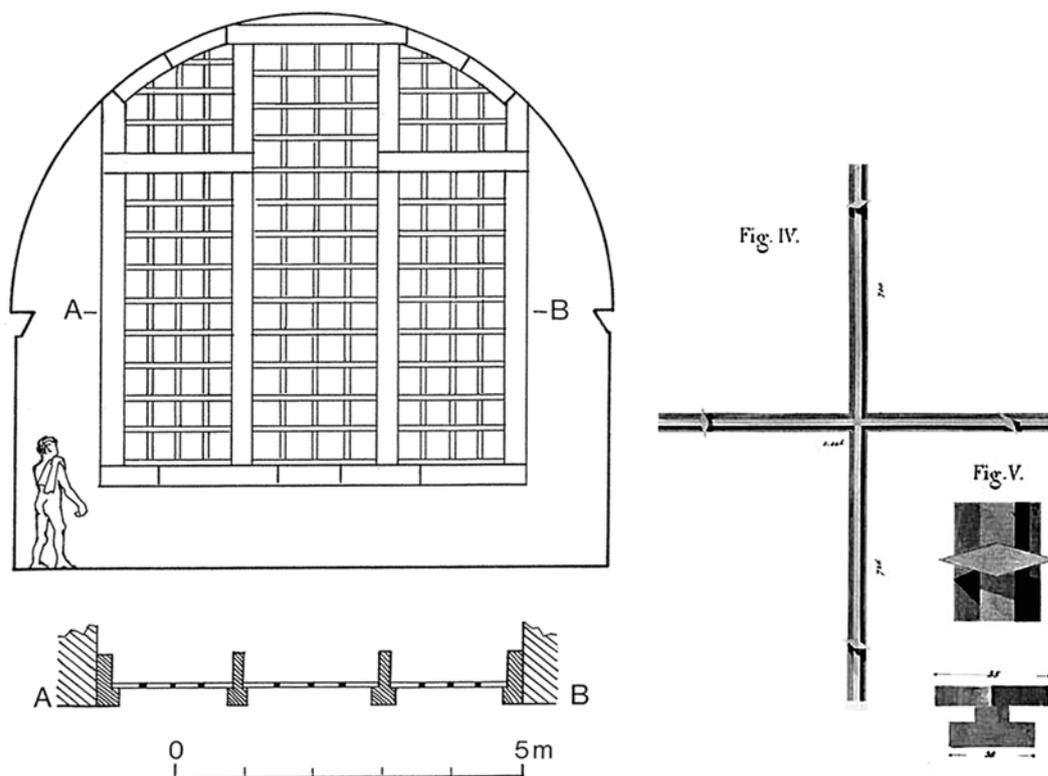


Ilustración 45. Reconstrucción de la ventana del *sudatorium* de las termas de Faustine à Milet (Baatz 1991, fig. 4).

Ilustración 46. Montante realizado en bronce de la ventana del *tepidarium* de las termas del Forum en Pompeya con el sistema móvil de fijación de los vidrios mediante tacos pivotantes (Mazois 1838, pl. L, fig. IV-V).

Existe constancia de su empleo en los yacimientos de las termas de Aragón (Bibilis y Cesaragusta, entre otras) y en Tarraco y Conimbriga. Un rasgo que se observa en los restos de los vidrios existentes en las termas excavadas es que no eran transparentes, sino que tenían un tono traslúcido debido en parte a las técnicas de conformado empleadas y a las alteraciones que pueden provocar las condiciones atmosféricas<sup>93</sup>. En

<sup>92</sup> El efecto invernadero que produce el vidrio es una ventaja que aprovechan para aumentar las temperaturas en salas y habitaciones específicas para sudar, como el *solarium* y el *heliocaminus*.

<sup>93</sup> El vidrio es un material que presenta cierto grado de solubilidad a las condiciones climáticas y que se soluciona con la adición en su fusión de productos estabilizantes como el CaO, MgO, PbO en proporciones inferiores al 15 %. La ausencia de estos óxidos puede provocar que los vidrios puedan presentar matizaciones en superficie, pérdidas de texturas pulidas y manchas blanquecinas.

ocasiones se podían encontrar vidrios con tonalidades azules y verdosas, en parte debidas a la presencia de óxidos colorantes o impurezas que les matizaba el color<sup>94</sup>. Para su colocación se recurría a un marco de madera al que se le acoplaba el vidrio, aunque en ocasiones se podía resolver también con marcos de metal si el hueco era pequeño (Ortiz 1997, 439). Los espesores y acabados variaban según la forma en la que se fabricaban (vidrio soplado de discos o vidrio soplado de cilindros), oscilaban desde los 5 mm hasta los 15 mm y presentaban unas caras diferentes, una plana y la otra más basta y rugosa.

### 1.5.5. Madera

La utilización de la madera en las termas se ceñía básicamente a tres posibles usos. En primer lugar, se empleó como material de uso estructural para la formación de las cerchas de cubierta, dinteles de paso en las aberturas, viguetas de madera en los forjados, etc. El segundo uso, de carácter funcional, iba destinado a las carpinterías de puertas, ventanas, mobiliario, frisos, cornisas y aleros. El tercer uso y también el más significativo y necesario, era el de combustible para calefactar el aire que circulaba por el interior del edificio.

Por lo que respecta a los tipos de madera empleados en cada uso, Vitruvio estipula en el libro II, capítulo 9 uno de los más extensos y descriptivos discursos sobre las especies de madera, sus ventajas e inconvenientes para utilizarlas en cada aplicación. Es sorprendente la destreza, conocimiento y exactitud con la que describe cada especie, su aplicación óptima e incluso la posibilidad de ataque por xilófagos, llegando al extremo de distinguir las bondades del abeto según su procedencia (Vitruvio, II, 9, 57). También merece destacarse la justificación que hace de su comportamiento en función de la composición interior de cada especie según la presencia de los cuatro elementos de la naturaleza (aire, agua, fuego y tierra), cuantificando y ordenando su uso para poder obtener la máxima durabilidad. Para la función estructural indica que las mejores maderas son las de roble, olmo, álamo, ciprés y abeto (curiosamente las que se corresponden básicamente con maderas coníferas y alguna frondosa). Para el funcional expone la mayor parte de las maderas de árboles frutales, haya, álamo, sauce, tilo y encina, es decir, maderas frondosas.

En cuanto al uso como combustible, los restos arqueológicos y las fuentes documentales consultadas pueden aportarnos la información necesaria para determinar el mejor tipo

---

<sup>94</sup> Normalmente los restos encontrados con tonalidades azules y verdosas corresponden a vidrios procedentes de utensilios y recipientes destinados a un uso doméstico.

de madera para emplear en las termas. La elección dependía, obviamente, de los recursos locales disponibles, así como del uso que se le iba a dar (para el horno del hipocausto o para fuego directo sobre recipientes o braseros). Las investigaciones acerca de la utilización de madera o carbón vegetal o mineral como combustible aún no han encontrado una respuesta satisfactoria en la actualidad. Tal vez porque, en muchas ocasiones, dependía de otros factores complementarios más allá de su óptimo resultado como fuente de energía. Parece ser que, para los baños en los que no se disponía de hipocausto, era común el uso del carbón en braseros (*lucretius*) (Nielsen 1990, 19), pues era poco operativo el fuego de combustión de leña por motivos de funcionalidad.

Respecto a la elección de las distintas especies de maderas, parece ser que se recomendaba utilizar maderas secas, entre las que la encina y cualquiera de las consideradas como coníferas eran las más empleadas<sup>95</sup>. Se intentaba evitar el empleo de madera de olivo, por su alto contenido en aceite, según señala Plinio el Viejo en el libro XXXV de su *Naturalis Historia*.

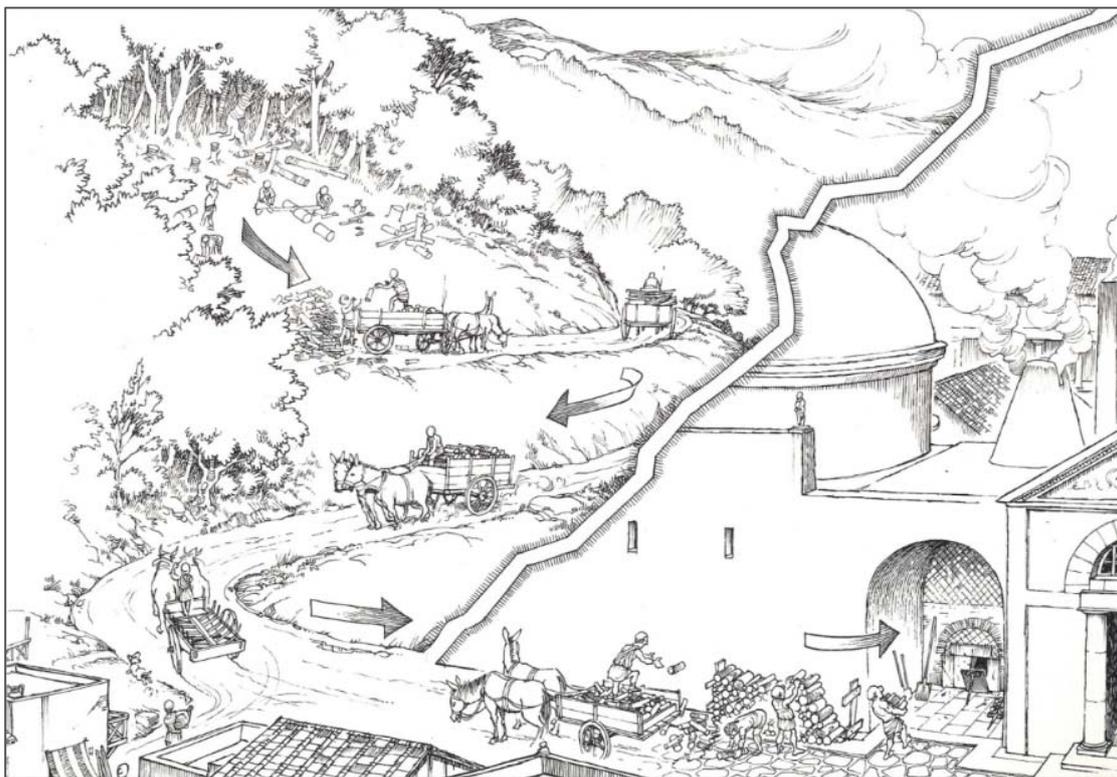


Ilustración 47. Dibujo extraído de libro de Pasquinucci *Terma e vita quotidiana* en el que se referencia el aprovisionamiento de madera a la terma (Pasquinucci 1993, 45).

<sup>95</sup> La condición de utilización de una especie u otra estaba condicionada por la proximidad de los bosques de donde poder extraerlas, además dependía de un transporte y de un almacenamiento en las dependencias de la terma.

Uno de los indicios más representativos en las excavaciones arqueológicas es la presencia o ausencia de hollín, cenizas y restos carbonizados de maderas. Son muchas las investigaciones que sobre este particular se están realizando para determinar las especies más usuales utilizadas como combustible (Caracuta y Foirentino 2011, 199)<sup>96</sup>.

Dichas consideraciones, al igual que todas las referidas a los dos temas principales de estudio de esta tesis doctoral, se desarrollarán al comienzo de sendos capítulos dentro del desarrollo específico del estado de la cuestión en el ámbito térmico e hídrico.

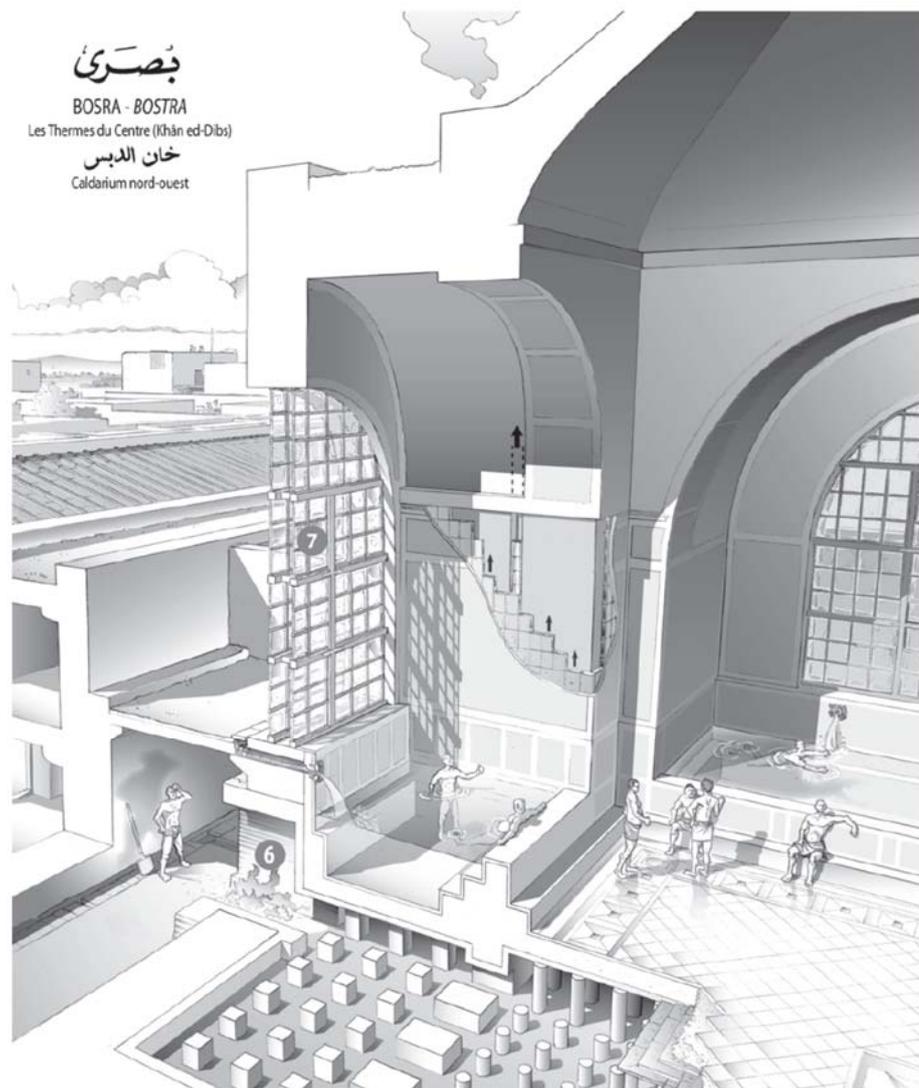


Ilustración 48. Thibaud Fournet. Les thermes du centre `a Bosra (Syrie du Sud). J. Dentzer-Feydy, M. Vallerin, T. Fournet, R. et A. Mukdad. Bosra, aux portes de l'Arabie, Presses de l'Ifpo, pp.243-253, 2007, Guides archéologiques de l'Ifpo n 5.

<sup>96</sup> V. CARACUTA y G. FIORENTINO (2011). "Wood for fuel in roman hypocaust baths: new data from the Late-Roman villa of Faragola (SE Italy)", en *Wood and charcoal. Evidence for human and natural history*. *Sagvntvm extra*, 13, pp. 109-208.

## 2. EL CONTEXTO DE EDETA Y LAS TERMAS

En este capítulo se describen el medio físico y el contexto histórico que condicionan la existencia del edificio de esta investigación. Cada uno de estos aspectos junto con el análisis descriptivo y constructivo del complejo termal permitirán la definición posterior del alcance del estudio pormenorizado del sistema hídrico y térmico, así como su influencia en el óptimo cumplimiento de sus funciones de manera más eficiente.

### 2.1. CONTEXTO FÍSICO

#### 2.1.1. Descripción del medio

El término de Lliria forma parte de la comarca valenciana del Camp del Túria, al noroeste de la provincia de Valencia y limita con 13 municipios:

- Al norte con Andilla, Alcublas y Altura.
- Al este con Marines, Olocau y La Pobla de Vallbona y Benissanó, cuyo término queda rodeado por el de Lliria, en la zona suroriental.
- Al sur con Benaguasil, Pedralba y Bugarra.
- Al oeste con Villar del Arzobispo y Casinos y Domeño, cuyo término también queda rodeado por el de Lliria en la zona centrooccidental.

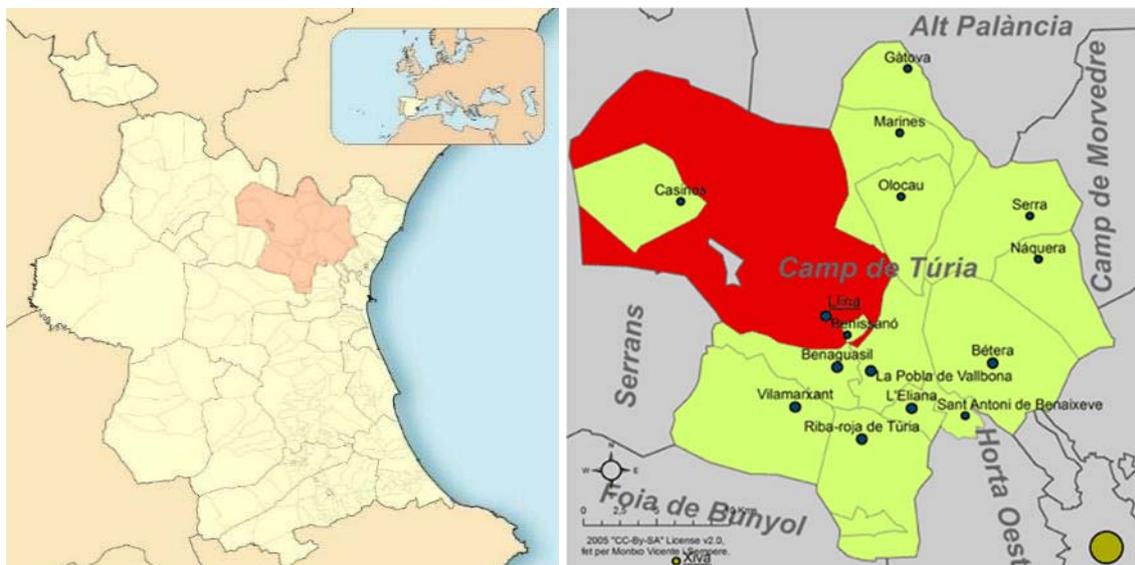


Ilustración 49. Ubicación de la comarca del Camp del Túria. Autor: Miguillen. CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=341103>. Consulta 05/2017.

Ilustración 50. Situación de Lliria y su comarca, respecto a los municipios colindantes. Autor: Montxo Vicente i Sempere. Martorell. CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=341103>. Consulta 05/2017.

El término municipal ocupa una superficie de 229,82 km<sup>2</sup>, y supone uno de los más grandes de la Comunitat Valenciana. Geográficamente se encuentra situado en la zona de la Concordia, en un valle entre las montañas del norte y el margen izquierdo del río Turia. Está dominado por una llanura ocupada por sedimentos cuaternarios en la mayor parte de su superficie, que solo se rompe con relieves de escasa importancia en las inmediaciones del casco urbano y al norte en las estribaciones de la Sierra Calderona (FIU 2002, 15-16)<sup>97</sup>.

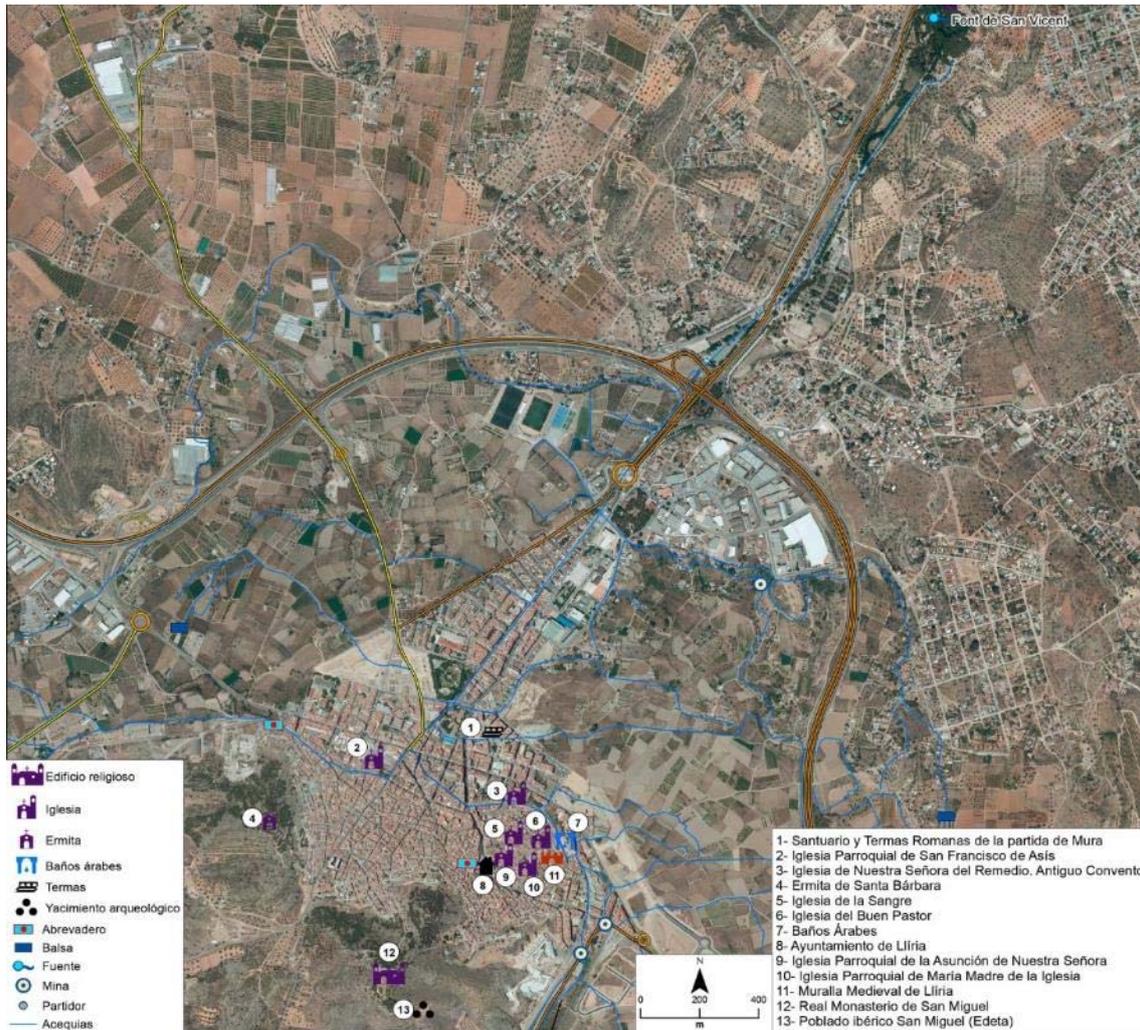


Ilustración 51. Vista aérea de la ciudad y de sus principales monumentos. Autor: José Luis Jiménez Salvador. CC BY-SA 2.5, [https:// http://paisajesturisticosvalencianos.com/paisajes/lliria-la-antiga-edeta/](https://http://paisajesturisticosvalencianos.com/paisajes/lliria-la-antiga-edeta/) Consulta 05/2017.

<sup>97</sup> FOMENTO DE INICIATIVAS URBANAS S. L. (2002). *Diagnóstico ambiental de Llíria*. Valencia. Desarrollado para plan de acción AGENDA 21 LOCAL. Consulta 04/2017: [http://www.lliria.es/sites/default/files/Diagnostico\\_ambiental.pdf](http://www.lliria.es/sites/default/files/Diagnostico_ambiental.pdf).

### 2.1.2. Análisis geológico

Los romanos, como grandes conocedores del territorio y de los productos que podían utilizar, solían extraer los materiales con los que construían los edificios de las zonas más próximas a los núcleos de población. Pero su elección no siempre estaba marcada por este factor, sino por la funcionalidad, el uso y su resistencia al comportamiento que se le exigía al material, tanto ambiental como mecánico. Por esta razón, en muchas ocasiones, las canteras de piedra se seleccionaban y se extraían los mejores frentes, aunque fueran los más distantes para transportarlos hasta los lugares donde se colocaban. En las termas de Mura, parte de los materiales de construcción pétreos fueron adquiridos del mismo lugar donde se ubicó la construcción del edificio, eligiendo y seleccionando el estrato pétreo más resistente, para utilizarlo en los puntos con mayores solicitaciones y exigencias y utilizando aquellos menos resistentes para otras funciones más decorativas u ornamentales. Sin embargo existen materiales que se han traído de zonas bastante alejadas, y otros que se han ubicado en zonas de los alrededores de la ciudad, en zonas no muy distantes, dejando su impronta tan característica debida a la forma de extracción que se practicaba en este tipo de canteras<sup>98</sup>.

Dentro del sistema de la cordillera central, la ciudad de Lliria se ubica en el extremo oriental de la cordillera ibérica en su rama aragonesa. Forma parte del sector ibérico valenciano septentrional que comprende las comarcas de los Serranos, el Rincón de Ademúz, el Camp del Túria y parte de la Hoya de Buñol y la Plana de Utiel. Limita al norte con Javalambre y Espadán, al este con el Pla de Valencia, al oeste con el límite de la Comunitat Valenciana y al sur con la meseta de Requena-Utiel y la depresión de la Hoya de Buñol. Este sector se caracteriza por tener una intensa tectónica de plegamiento y fracturación, que aflora materiales mesozoicos con recubrimientos de cuaternario y terciario que solo adquieren importancia regional hacia el este. Las direcciones principales son las ibéricas NW-SE, catalánides NNE-SSW y una importante directriz N-S (FIU 2002, 17).

Por este motivo, es interesante definir la estratigrafía que producen los afloramientos de materiales pétreos que determinan las zonas óptimas para la extracción como materiales de construcción. Estos estratos, ordenados de mayor a menor antigüedad y según el estudio del diagnóstico ambiental de Lliria elaborado para el plan de acción de la Agenda 21 (FIU 2002, 17-21) son los siguientes:

---

<sup>98</sup> En el apartado correspondiente a la descripción de las termas se enumeran las zonas delimitadas como canteras que han servido para suministrar piedra para la construcción de las termas.

### Mesozoico-Triásico

Al sur de la *Buitrera*, aflora el Triásico en facies *muschelkalk* y *keuper*, siendo los materiales más antiguos del término. El *muschelkalk* queda definido por dolomías negras y el *keuper* por arcillas rojizas con yesos.

### Mesozoico-Jurásico

La mayoría de materiales mesozoicos que afloran en Lliria corresponden al Jurásico, al igual que todos los relieves importantes situados al norte del Canal Principal del Camp del Túria hasta el límite de término.

*Grupo Renales*: en la formación Dolomías tableadas de Imón encontramos dolomías grises apoyadas en los materiales del *keuper*; en la formación Carniolas de Cortes de Tajuña tenemos brechas carniolas rojizas; por último, en la formación Calizas y dolomías tableadas de Cuevas Labradas aparecen de calizas estratificadas y masivas.

*Grupo Ablanquejo*: en la formación Calizas bioclásticas de Barahona hallamos calizas laminadas y en la formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel hay margas y calizas.

*Grupo Turia*: en la formación Chelva aparecen calizas bien estratificadas; en la formación Margas de Sot de Chera margas nodulosas; en la formación Ritmita calcárea de Loriguilla encontramos alternancia de calizas y margas y, por último, en la formación Calizas con oncolitos de Higuieruelas tenemos bancos gruesos de calizas oncolíticas.

### Mesozoico-Cretácico

Al suroeste del casco urbano de Lliria conformando un sinclinal, en Taraiola, Cañada Parda y en montes isla como la Monrabana se localizan los principales afloramientos del Cretácico. Pertenecientes al albiense cenomaniense inferior tenemos arenas caoliníferas (explotadas en casi todos los afloramientos) sobre las que se disponen calizas grises. Del Cenomaniense medio a Coniacense hay dolomías muy bien estratificadas de espesor variable.

### Cenozoico-Terciario

En la parte este del término municipal afloran discordantemente los materiales terciarios de origen marino: se trata de calizas, margas y areniscas que suelen resaltar topográficamente porque los bancos calizos han preservado de la erosión al conjunto inferior. En cuanto a los de origen continental, encontramos las margas y arcillas de la formación roja de Pedralba.

## Cenozoico-Cuaternario

La presencia de áreas fuente mesozoicas, con fracturas activas, supone que los dispositivos cuaternarios de depósito tengan potencias importantes. A su vez, los barrancos inciden fuertemente en los abanicos en etapa de formación. Toda esta disposición de red drenaje se dirige hacia el sur: el río Turia. Se pueden observar en Lliria ejemplos de limos de vertiente, coluviones, abanicos, fondos de rambla, aluviales, y sobre todo glacia de acumulación, que ocupan la mayor parte del término. En ellos encontramos arcillas, limos, arenas y cantos. La superficie plana superior, se ve salpicada por montes isla cretácicos o terciarios calcáreos.

Conforme al estudio estratigráfico, quedan definidos dos amplios sectores que se destacan en el término municipal: los relieves mesozoicos al norte y este, y la llanura, el Camp del Túria, salpicada por montes isla mesozoicas y por relieves terciarios marinos. Esta plataforma se encuentra basculada hacia el sur, de manera que la red de drenaje se dirige hacia el Turia (FIU 2002, 18-20).

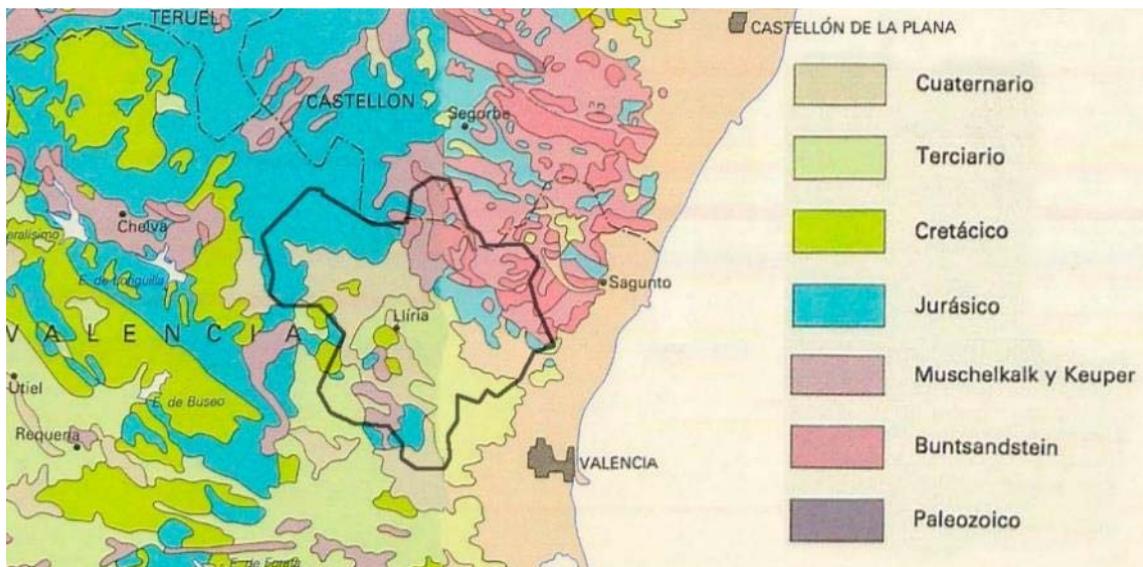
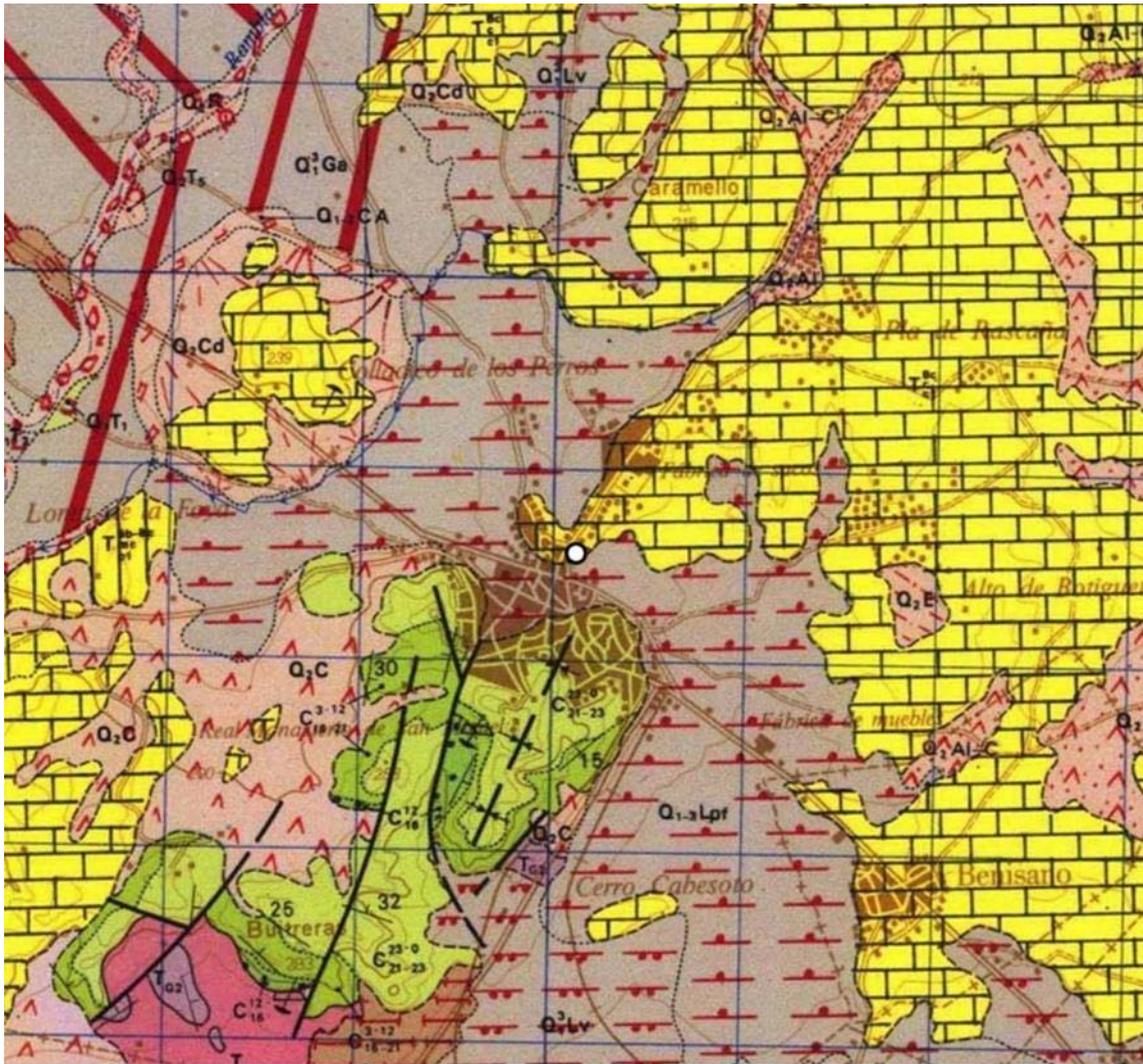


Ilustración 52. Camp del Túria, esquema geológico. Fuente: IGME, Mapa Geológico de España, escala 1:200.000 (2ª Serie) hojas 55 y 56. Elaboración propia.



○ Termas de Mura

### TRIASICO

T<sub>02</sub> Dolomías negras. Calizas y margas tableadas con restos de Myophorias a techo

### CRETACICO

C<sub>23-0</sub> / C<sub>21-23</sub> Dolomías sacaroideas, compactas, bien estratificadas, dolomías brechoideas, masivas, friables y calizas recristalizadas. Niveles de margas

C<sub>3-12</sub> / C<sub>18-21</sub> Calizas gravelosas y biodetríticas con Orbitolinas

C<sub>12</sub> / C<sub>18</sub> Arenas y margas limolíticas

### TERCIARIO

T<sub>01</sub> / T<sub>01</sub> Calizas lacustres con tubos de algas

T<sub>00-01</sub> / T<sub>00-01</sub> Margas limolíticas blancuzcas y calizas lacustres Tubos de algas y gasterópodos

### CUATERNARIO

Q<sub>2</sub> AI-C ALUVIAL-COLUVIAL. Arcillas arenosas con cantos

Q<sub>2</sub> AI ALUVIAL. Arenas y cantos redondeados

Q<sub>2</sub> R FONDO DE RAMBLA. Bloques y cantos subredondeados

Q<sub>2</sub> E ELUVIAL. Arcillas arenosas con cantos angulosos

Q<sub>2</sub> Cd CONO DE DEYECCION RECIENTE. Arcillas rojas con cantos subredondeados

Q<sub>2</sub> C COLLUVION RECIENTE. Arcillas y cantos angulosos

Q<sub>1</sub> Ts TERRAZAS. Arenas, limos y cantos

Q<sub>1-3</sub> CA CAUCE ABANDONADO. Limos arenosos

Q<sub>1-3</sub> Lpf LIMOS PARDOS FLUVIALES.

Q<sub>1</sub> Ga GLACIS DE ACUMULACION. Niveles de arcillas y cantos con costras discontinuas

Q<sub>1</sub> Lv LIMOS DE VERTIENTE. Limos carbonatados con cantos angulosos

Q<sub>1</sub> T<sub>1</sub> TERRAZAS. Arenas, limos y cantos

Ilustración 53. Llíria, mapa geológico. Fuente: IGME, Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie) hoja 695. Elaboración propia.

### 2.1.3. Análisis hidrológico

El análisis hidrológico de la zona constituye uno de los datos más importantes a la hora de averiguar los condicionantes más importantes elegidos para el asentamiento de una ciudad romana y su evolución urbana, con el consiguiente aumento de población y de la implantación de las construcciones, instalaciones e infraestructuras que pudiera albergar. Este aporte hídrico queda definido por los recursos naturales existentes en la zona, aunque en ocasiones se abordan proyectos más ambiciosos para traer el agua desde distancias de más de 100 km, como en el caso de Cartago, cuyo conducto mide aproximadamente 132 km de longitud desde su captación hasta la entrada a la ciudad (Adam 1996, 264). Por tal motivo, es interesante definir los recursos naturales que pueden condicionar la implantación y crecimiento de una población como Edeta, atendiendo a las distintas posibilidades de captación tanto superficial como profunda, y la distribución hasta los puntos de consumo.

#### Hidrología superficial

##### Cauces naturales

El término de Lliria no presenta ningún curso de agua permanente. Aparecen únicamente barrancos y ramblas temporales como la Rambla de Montearagón, la Rambla de Escarihuela y la Rambla de Artaix (también denominada Rambla de la Castellana, o Rambla Primera a su paso por Lliria). Estas ramblas evacúan las escorrentías superficiales cuando se producen lluvias de suficiente magnitud y, en todos los casos, vierten sus aguas al río Turia a través de otros barrancos, ramblas o afluentes. Sin embargo, es necesario hacer la salvedad de que dispone de un punto bastante caudaloso emplazado a unos 3 km al NE del núcleo urbano de Lliria, donde se produce un afloramiento de agua en la superficie y que se denomina el manantial de Sant Vicent, paraje donde brota el agua de forma regular desde tiempos inmemoriales y que da lugar a un curso de agua aprovechada tanto para el consumo humano como para el riego. Por otro lado, aparecen en el término, algunas charcas o lagunas temporales que se desecan en la época estival (FIU 2002, 16).

##### Cauces artificiales

La acción antrópica para el aprovechamiento agrícola, genera una importante red de acequias que parten en su mayoría de la Séquia Major, la cual canaliza el agua que surge mayoritariamente del manantial de Sant Vicent.



Ilustración 54. Sistemas de regadío de la zona de Lliria. Fuente Ministerio de Medio Ambiente.

## Hidrología subterránea

Tan sólo se ha identificado un punto que defina los aportes de agua subterránea y que coincide con el acuífero Lliria-Casinos. Pertenece al subsistema Buñol-Casinos, que a su vez es uno de los tres subsistemas que conforman el sistema acuífero del Medio Turia.

En la unidad se distinguen dos subunidades: la cubeta del Villar del Arzobispo y la cubeta de Lliria-Casinos.

En la cubeta de Lliria-Casinos la complejidad tectónica permite que los diferentes niveles transmisivos estén en conexión hidráulica formando un único acuífero, en el que el máximo interés se centra en los materiales jurásicos. Otras formaciones transmisivas presentan un interés más restringido. Así, el cuaternario normalmente no se encuentra saturado: las calizas del pontiense únicamente adquieren importancia al NE de Lliria, en cuyo ámbito se ubica el manantial de Sant Vicent, principal emergencia del subsistema, mientras que las calizas y dolomías del cretácico superior únicamente están saturadas al NE de Bugarra.

La piezometría del acuífero varía entre 700 m.s.n.m. en su sector septentrional y 70 m.s.n.m. en el oriental, e indican escorrentía en dirección SE hacia el río Turia y la Plana de Valencia.

La alimentación del acuífero procede de la infiltración del agua de lluvia (70 hm<sup>3</sup>/año), la infiltración de excedentes de riego con aguas superficiales del río Turia (12 hm<sup>3</sup>/año) y transferencias subterráneas (10 hm<sup>3</sup>/año) procedentes del sistema acuífero Sierra de Espadán. La descarga se produce por emergencias a través del manantial de Sant Vicent (14 hm<sup>3</sup>/año), extracciones mediante bombeos (18 hm<sup>3</sup>/año), transferencia subterránea al sistema acuífero Plana de Valencia (24 hm<sup>3</sup>/año) y descargas al río Turia (36 hm<sup>3</sup>/año) (IGME 1988, 100)<sup>99</sup>.

---

<sup>99</sup> INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1988). *Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización*. Madrid: IGME.

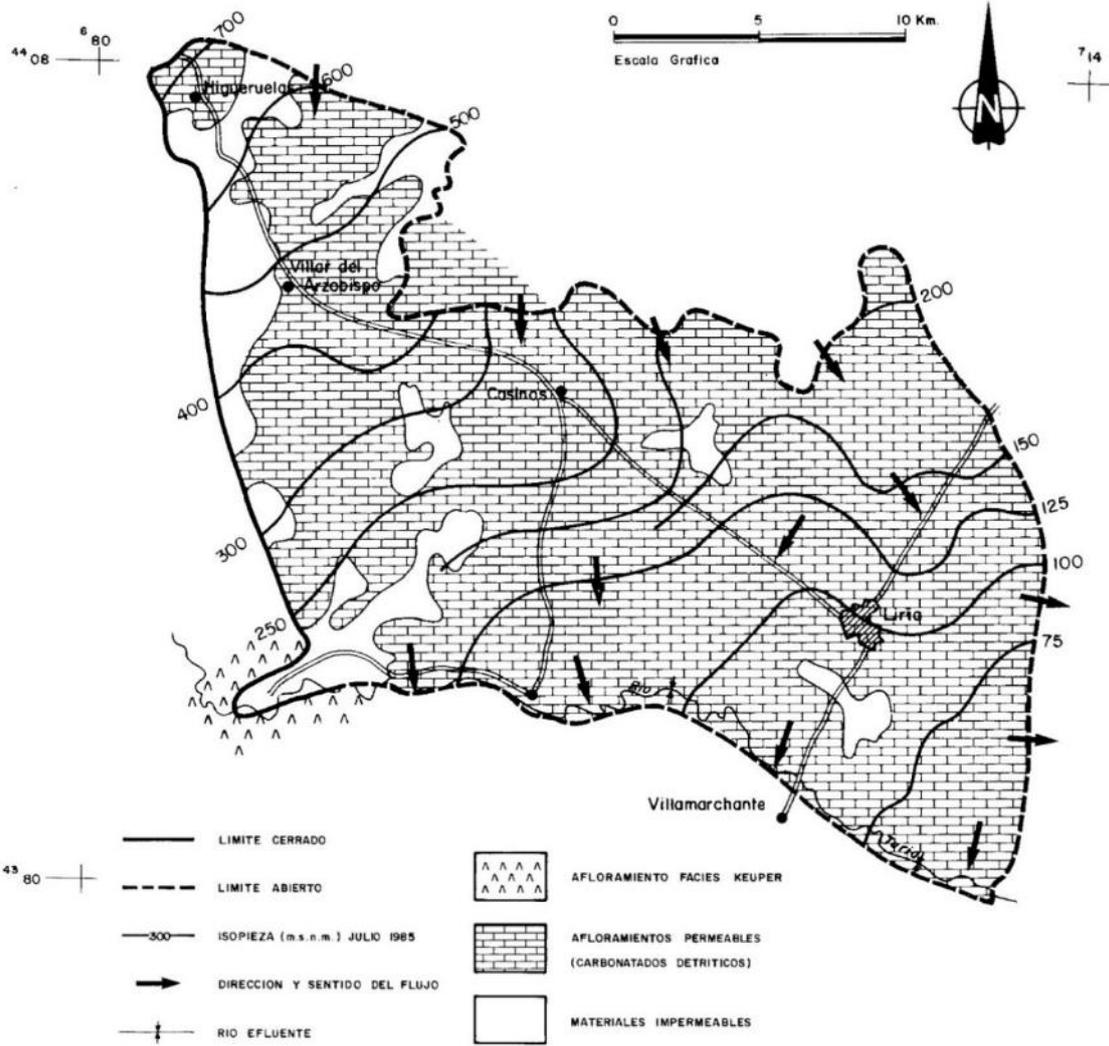


Ilustración 55. Acuífero Llíria-Casinos. Fuente: IGME 1988, 103. Adaptación propia.

## 2.2. CONTEXTO HISTÓRICO Y URBANO

### 2.2.1. La Edeta romana

Los vestigios humanos más antiguos referenciados en la zona se remontan a finales del paleolítico superior. Se constituyó un importante núcleo durante el periodo Eneolítico, en el puntal de la rambla Castellarda, que debió perdurar hasta los primeros tiempos de la Edad de Bronce (VV. AA. 2009)<sup>100</sup>.

La actual ciudad de Lliria, tal y como se conoce con los actuales límites territoriales, tiene sus orígenes en la Edad de Bronce, en el asentamiento que hubo en el cerro de Sant Miquel y que ostentó la categoría de ciudad-estado en lo más alto de la jerarquía política y territorial de los iberos en tierras valencianas entre los siglos VI al II a. C. (Bonet 1995, 527-529)<sup>101</sup>.

Durante la época helénica, el geógrafo griego, Claudio Ptolomeo, hizo mención de una “Edeta kaì Leiria”, que constituye la única referencia inequívoca al núcleo urbano de Edeta (Ledo 2011)<sup>102</sup> y que muchos autores han identificado en este término, el origen del nombre de la ciudad de Edeta<sup>103</sup>.

La expansión de fenicios y griegos por el Mediterráneo occidental propició importantes contactos comerciales con los iberos del territorio edetano, favorecidos por la existencia de fondeaderos, como el de Cabanyal, y Malvarosa (Valencia) y el puerto de Arse (Sagunto), a los que llegaban productos envasados en ánforas, fundamentalmente vino y aceite, que se transportaban hasta Edeta y poblaciones aledañas (Mata 2011)<sup>104</sup>.

---

<sup>100</sup> VV. AA. (2009). “Lliria”, en *Gran Enciclopedia Temática de la Comunidad Valenciana. Geografía*. Valencia: Editorial Prensa Valenciana.

<sup>101</sup> H. BONET ROSADO (1995). *El Tossal de Sant Miquel de Lliria. La antigua Edeta y su territorio*. Valencia: Diputación de Valencia. Servicio de Investigación Prehistórica, pp. 527-529. ISBN: 84-7795-981-1.

<sup>102</sup> A. LEDO CABALLERO (2011). “Lliria durante el periodo romano y la antigüedad tardía”, en J. Hermosilla Pla (ed.): *Lliria, historia geografía y arte: nuestro pasado y presente*, pp. 49-106. Valencia: Universitat de València.

<sup>103</sup> Joan Fuster en su obra *Viatge al País Valencià* (1971) también hace referencia a este término “Leiria” como origen de la actual Edeta.

<sup>104</sup> C. MATA PARREÑO (2011). “Edeta: Una ciudad-estado ibérica”, en J. Hermosilla (ed.): *Lliria, historia, geografía y arte: nuestro pasado y presente*, vol I. Valencia: Universitat de València.



romanos con plena ciudadanía o con derecho latino. De Francisci las definía como una “comunidad acogida a la ciudadanía romana y adscrita a las tribus” (Francisci 1969, 281)<sup>107</sup>. Su régimen es similar al de los municipios de Italia y aunque el suelo sigue siendo *ager publicus*<sup>108</sup>, se asiste a un reparto del mismo entre sus pobladores, ya que estos forman parte de la *civitas*, aunque no intervienen en los comicios de Roma. Edeta, tras su adscripción como *municipium latinorum*, pasa a ser un municipio de derecho latino, y sus ciudadanos son adscritos a la tribu Galeria (Corell 2008, 69)<sup>109</sup>.

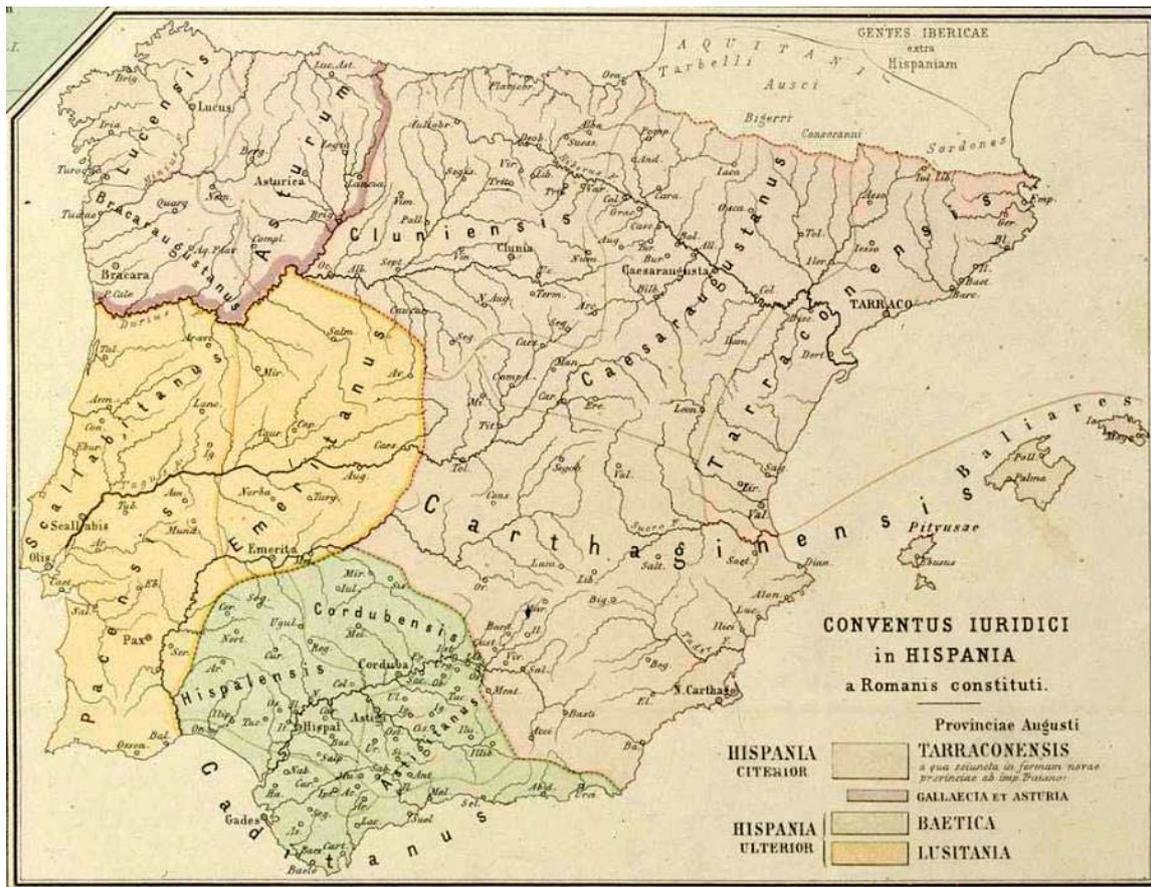


Ilustración 57. Plano de los Conventus Iuridici en Hispania. Autor: H. Kiepert (1893) de la colección de “Mapa de las provincias romanas en España. Escala 1:2.500.000”. Biblioteca Nacional de España.

<sup>107</sup> P. de FRANCISCI (1969). *Sintesi storica del diritto romano*. Roma: Edizioni dell’ateneo,

<sup>108</sup> *Ager publicus* hace referencia a los terrenos que son confiscados y pasan a ser públicos, diferenciándose claramente de los terrenos privados. Su forma de organización, reparto y explotación es diversa según los territorios y las zonas.

<sup>109</sup> J. CORELL (2008). *Inscripciones romanas del País Valencià. IV. Edeta i el seu territori*. Valencia: Universitat de València.

Con ello, la ciudad goza de una notable autonomía administrativa con magistraturas municipales, como queda reflejado en diversas inscripciones halladas en Edeta (Corell 2008, 69). Este hecho permite a los edetanos, como ciudadanos romanos, iniciar una carrera política y administrativa cuya evolución les puede llevar a ocupar los más altos lugares de poder, como senadores, e incluso aspirar al gobierno del imperio, como queda reflejado en la documentación epigráfica encontrada sobre el general Marco Cornelio Nigrino Curiaceo Materno, senador consular y aspirante al trono de Roma (Alföldy y Halfmann 1973)<sup>110</sup>. También era usual la lucha por ostentar cargos religiosos de rango provincial, tal y como consta la aparición de cuatro *flamines*<sup>111</sup> uno en el siglo I. d. C., dos entre el I y el II d. C. y otro en el siglo III d. C. De todos ellos destaca Valerius Propinquus Grattius Cerealis, flamen provincial en Tarraco por dos veces.

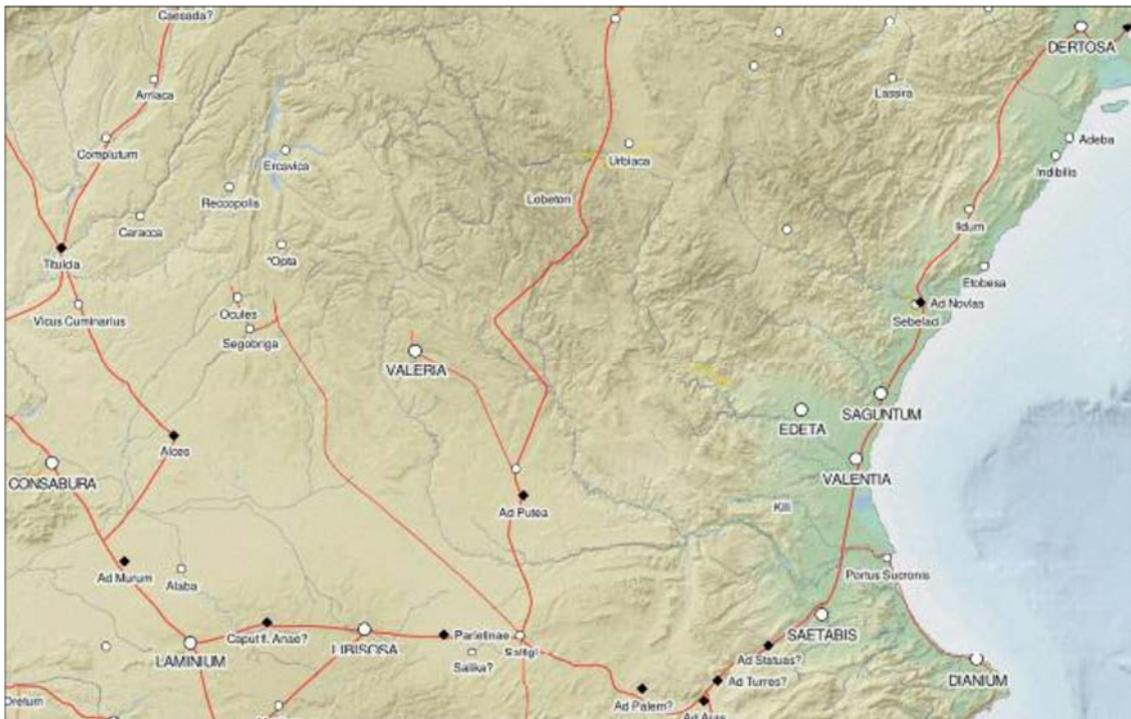


Ilustración 58. Plano de situación de Edeta y principales vías de comunicación (Escrivà et al. 2014)<sup>112</sup>.

<sup>110</sup> G. ALFÖLDY y H. HALFMANN (1973). *El edetano M. Cornelius Nigrinus Curiatius Maternus, General de Domiciano y rival de Trajano*. Trabajos varios del SIP, 44. Valencia: Museu de Prehistòria de València.

<sup>111</sup> Los *flamines* eran los sacerdotes públicos romanos de más rango, adscritos a una divinidad y que realizaban los rituales más importantes dentro del territorio designado.

<sup>112</sup> V. ESCRIVÀ, C. MARTÍNEZ y X. VIDAL (2014). "Contextos cerámicos, desarrollo urbano y abandono de Edeta (Lliria, Valencia) s. III-IV d. C.", en *Las ciudades de la Tarraconense oriental entre los s. II-IV d. C.: evolución urbanística y contextos materiales*, pp. 253-283.

La ciudad romana de Edeta cada vez se conoce mejor gracias a las intervenciones arqueológicas realizadas en los últimos años, y han permitido conocer y delimitar con bastante precisión los diversos espacios urbanos. Estas investigaciones han determinado la definición del espacio público desde el siglo I hasta el siglo VII d. C., quedando muy bien definidas en las memorias e informes de las distintas campañas arqueológicas (Escrivà *et al.* 2001, 13-91<sup>113</sup>; Vidal 2008<sup>114</sup>; De Manuel 2013<sup>115</sup>).

Por los datos que se conocen a día de hoy, Edeta sería una ciudad de pequeñas dimensiones con una población de entre 5.000 y 8.000 habitantes que se organizaba en una ciudad estructurada y bastante funcional. La situación en origen se ubicaría en torno a la zona conocida como Pla de l'Arc y a cierta distancia de la ciudad ibérica, sita en el Tossal de Sant Miquel. La ciudad alcanzaría su máximo desarrollo en época Flavia, en la que Marco Cornelio Nigrino es nombrado *consul suffectus*<sup>116</sup> en el año 83 d. C. (Alföldy y Halfmann 1973), coincidiendo, con mucha probabilidad, con la construcción del santuario y las termas romanas de Mura, uno de los mejores conjuntos arquitectónicos conservados de aquella época (Escrivà y Vidal 1995<sup>117</sup>; Escrivà *et al.* 2001, 13-91). A partir de los datos obtenidos en la excavación de este importante edificio se han podido conocer algunas de las transformaciones más significativas de la ciudad a partir de finales del siglo III d. C. hasta el siglo VII d. C. (Escrivà *et al.* 2007<sup>118</sup>).

De la ciudad de época augusta se tienen pocos datos, ya que en las intervenciones arqueológicas efectuadas hasta el momento no se han recuperado estructuras urbanas de este periodo. La mayoría de las referencias a esta época proceden de la documentación epigráfica donde se hace mención explícita a la organización municipal de Edeta y donde se contrasta la adscripción a la tribu Galeria, producida en este

---

<sup>113</sup> V. ESCRIVÀ, C. MARTÍNEZ y X. VIDAL (2001): "Edeta kai Leiria: La ciutat romana d'Edeta de l'època romana a l'antiguitat tardana", *Lauro. Quaderns d'història i societat*, 9, pp. 13-91.

<sup>114</sup> X. VIDAL FERRÚS (2008). *Memoria de la intervenció arqueològica efectuada en el solar del C.E.I.P. Sant Vicent de Llíria*. Depositado en la Direcció General de Patrimoni de la Conselleria de Cultura de València.

<sup>115</sup> MANUEL RIOJA, F. de (2013). *Informe de la intervenció arqueològica efectuada en las obras de urbanización de la U.E 3. Llíria*. Depositado en la Direcció General de Patrimoni de la Conselleria de Cultura de València.

<sup>116</sup> *Consul suffectus* es el cónsul nombrado como sustituto en una provincia del imperio debido a un cargo vacante. El poder del cónsul era mayor que el de los magistrados y según los apoyos conseguidos podía ejercer mucha presión en distintas decisiones del Senado y del mismo emperador.

<sup>117</sup> V. ESCRIVÀ y X. VIDAL (1995). "La partida de Mura (Liria, Valencia): un conjunto monumental de época Flavia", *Sagvntvm*, 29, pp. 231-240. València.

<sup>118</sup> V. ESCRIVÀ, C. MARTÍNEZ y X. VIDAL (2007). "Edeta en la antigüetat tardia", en *VI Reunió d'Arqueologia Cristiana Hispànica*, pp. 267-277. Barcelona.

momento al pasar a ser un municipio de derecho latino (Plinio, Hist. Nat. 3, 4, 23). Son estas inscripciones, la mayoría funerarias, las que han proporcionado datos sobre aspectos de la sociedad romana de Edeta, caso de la condición social de sus habitantes, o cargos públicos ocupados en la ciudad de Edeta (Corell 2008, 45).

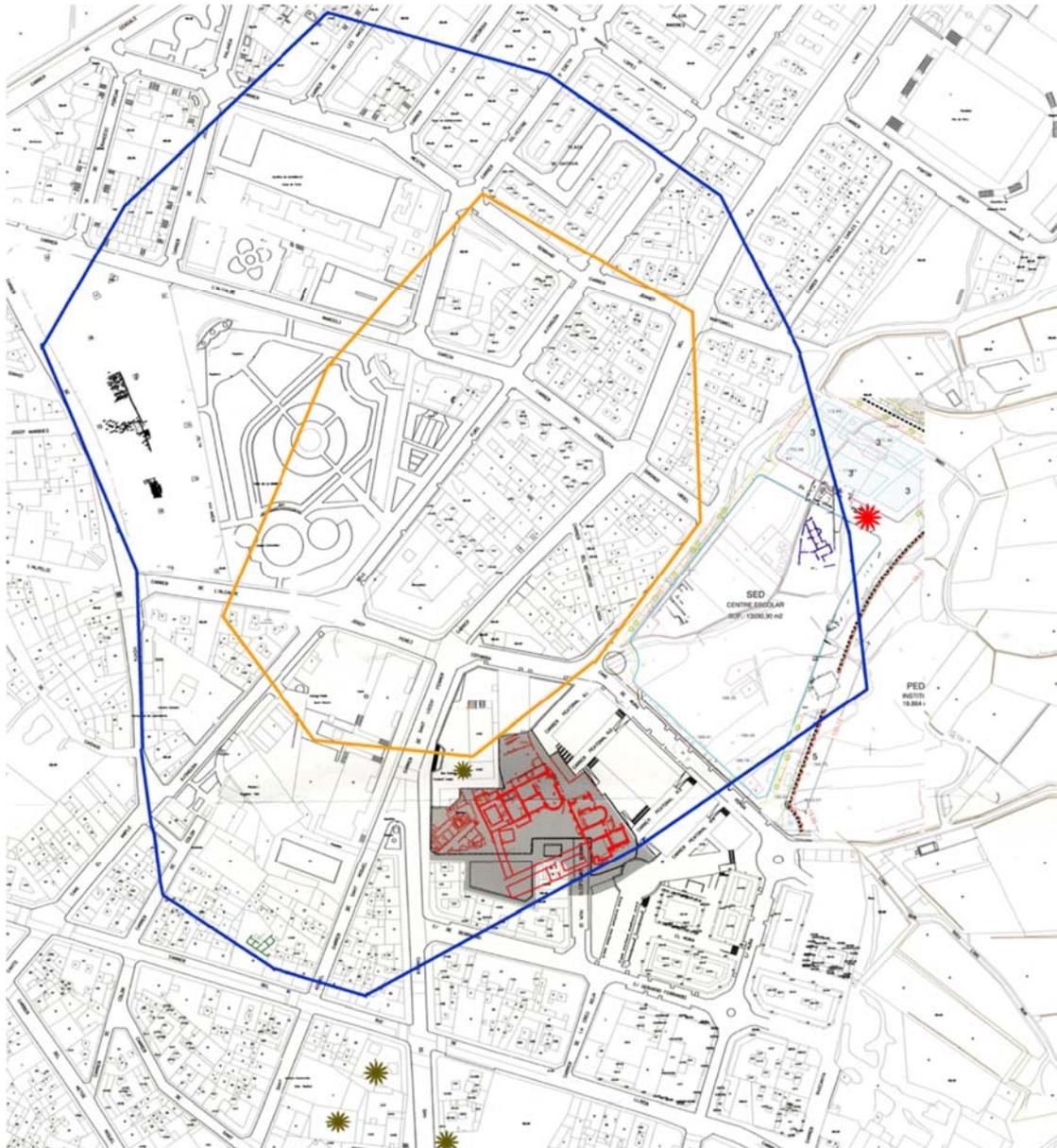


Ilustración 59. Plano de delimitación y evolución de la ciudad romana de Edeta donde se pueden apreciar los límites de la ciudad en época de Augusto (línea naranja) y en época Flavia hasta el siglo III d. C. (línea azul) (Escrivà *et al.* 2017<sup>119</sup>).

<sup>119</sup> V. ESCRIVÀ, C. MARTÍNEZ y X. VIDAL (2017). “Los lateres cocti en las termas dobles de Mura”, en *Opera fictilis. Estudios transversales sobre cerámicas antiguas de la Península Ibérica. IV Congreso Internacional de la SECAH*. En prensa

No obstante, en el estado actual de la investigación, el suelo donde se asentaría la ciudad de principios del siglo I d. C., dada la ausencia de un registro arqueológico, viene delimitado por las construcciones sitas en sus vías de acceso, como ocurre en el caso de las necrópolis, ya que no se podía enterrar en el *pomerium*<sup>120</sup> de la ciudad (Ley de las 12 Tablas<sup>121</sup>). Con el posterior desarrollo urbano de época Flavia, estas construcciones que se encuentran en las afueras de la ciudad, quedan absorbidas o integradas dentro de la nueva. Concretamente, se han documentado dos monumentos funerarios que pertenecieron a una vía de acceso a la ciudad y que posteriormente pasaron a formar parte de la trama urbana propia del santuario oracular y termas de Mura, hecho que nos refrenda uno de los límites de la ciudad augustea (Escrivà *et al.* 2001, 13-91).



Ilustración 60. Mausoleos de la calle de las Termas, embebidos con la monumentalización del santuario. (Foto: Carmen Martínez).

Otros indicadores de los límites urbanos son las instalaciones productivas que generaban emisiones insalubres, caso de los talleres o instalaciones de oficios y trabajos varios. Por este motivo, se situaban por lo general en áreas suburbanas o directamente

---

<sup>120</sup> *Pomerium* identifica el perímetro de la ciudad con connotaciones de aspecto sagrado y donde no se permitía ninguna construcción hasta la delimitación de las murallas que circundan la ciudad.

<sup>121</sup> Ley de las 12 tablas. Del derecho a lo sagrado. Tablas 10ma. “ningún cadáver puede ser enterrado ni quemado dentro de la ciudad”.

fuera de la ciudad, pero próximos a ellas, tal y como queda de manifiesto al ubicar los dos centros alfareros documentados en la calle Duc de Lliria (Escrivà *et al.* 2001, 79). Esta instalación corresponde a un horno cerámico de época romano-republicana. En los terrenos de la urbanización denominada U.E. 3 se identificaron otros dos hornos cerámicos datados a principios del siglo I d. C. (De Manuel 2013). Ambos alfares están situados, como es habitual, fuera de lo que será la ciudad romana de época de Augusto, pero en terrenos arcillosos, próximos a ramblas y conectados a las vías de comunicación, tanto hacia el propio municipio como hacia Saguntum y Valentia.



Ilustración 61. Hornos cerámicos datados a principios del siglo I d. C. en la U.E.3 de Lliria (Manuel 2013).

De la ciudad romana de época imperial (s. I-III d. C.) se tiene una mayor información arquitectónica y urbanística dado que las últimas investigaciones han permitido conocer y plantear con bastante precisión una primera propuesta de ordenación de los diversos espacios urbanos, definir las fases de ocupación urbana del municipio y aproximarnos al conocimiento de cómo serían el modo de vida de los edetanos, bien a través de las grandes construcciones públicas como el santuario y las termas dobles de Mura, o las termas de la Puerta Este, bien a través de sus construcciones domésticas, casas, talleres, instalaciones productivas, e incluso por las necrópolis.

Si bien la retícula urbana de la zona en estos momentos no se puede plantear de forma definitiva, sí que se puede abordar una hipótesis de ordenación urbana a partir de la disposición de las *domus* construidas en el siglo I d. C. que perduran hasta el III d. C. (Escrivà *et al.* 2001, 13-91; Vidal 2008). En todas ellas se puede observar la planificación previa a su construcción al estar todas plenamente adaptadas a las condiciones orográficas del terreno en el que se asientan, disponiéndose en plataformas aterrazadas que acaban modelando el urbanismo de la ciudad ya que se encuentran rematadas por viales a través de los cuales se accedería a los diferentes edificios.

Otro de los elementos que refrenda la propuesta anterior y ayuda, por tanto, a definir el urbanismo de la ciudad nos los proporciona la red de distribución de agua para el consumo de la población, al igual que el de aguas residuales de la red de saneamiento de las diferentes viviendas y que vierten al colector general que discurriría por una vía con una cota inferior (Vidal 2008).



Ilustración 62. Plano de los restos arqueológicos documentados en la ciudad romana en su sector E (Vidal 2008).

## 2.2.2. Construcciones privadas

La casa romana se concibe como una sede social en la que posición y ocupación prescriben un tipo concreto de morada decorosa y digna (Fernández 1999, 450)<sup>122</sup>. Por tanto, en las pequeñas ciudades provinciales, el detentador de una *domus* será el perteneciente a un determinado estatus social cuyo símbolo será la casa.

En Edeta las intervenciones arqueológicas han permitido documentar diversas *domus* cuyo modelo no dista de los arquetipos clásicos de estas residencias de prestigio en el resto del Conventus Tarraconensis, tal y como se puede observar en la denominada Casa del Tesoro, en la de Ca'n Porcar, donde se ubicaba el mosaico de los 12 Trabajos de Hércules (Escrivà *et al.* 2001, 70-73) y en las denominadas *Domus I*, *Domus II*, *Domus III* de Mura (Vidal Ferrús 2008), todas ellas articuladas alrededor de la vía de Mura y que a continuación se describen.

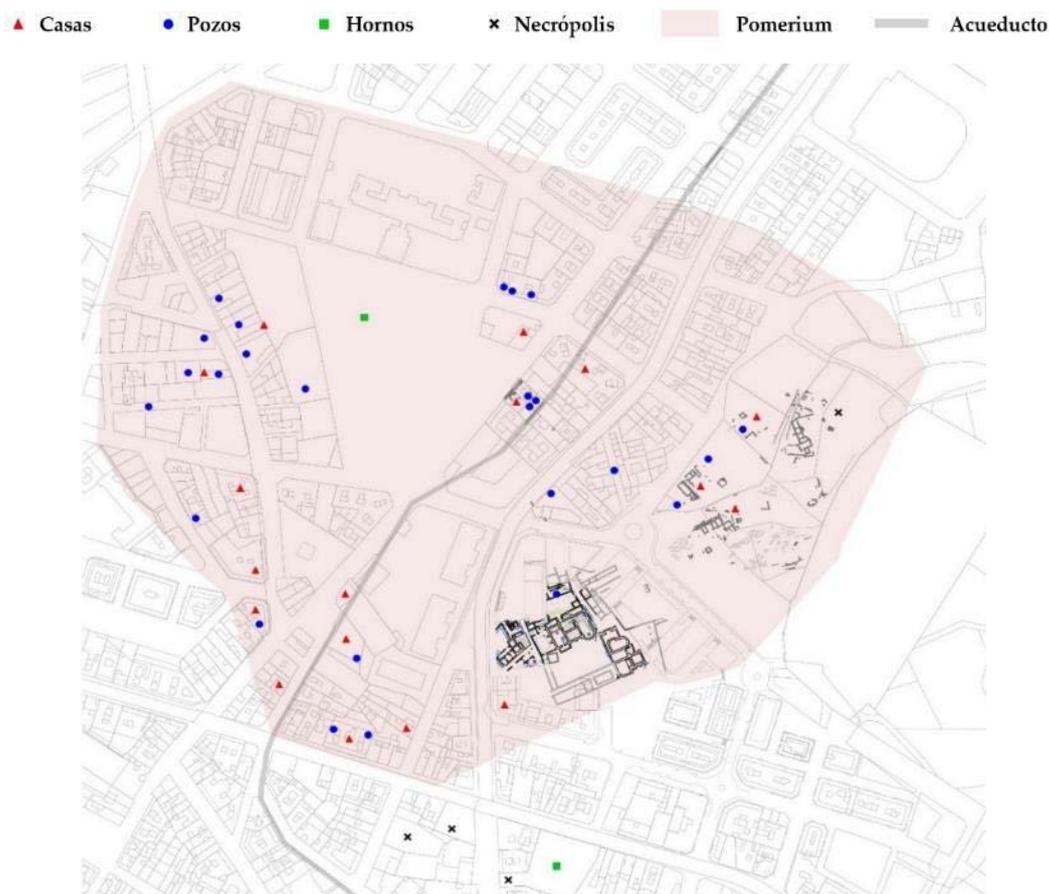


Ilustración 63. Plano de situación de hallazgos arqueológicos de la Edeta romana. Elaboración propia según información de Carmen Martínez y Xavier Vidal.

<sup>122</sup> P. A. FERNÁNDEZ VEGA (1999). *La casa romana*. Barcelona: Akal.

La distinta documentación consultada a la hora de situar urbanísticamente las construcciones de época romana ha permitido elaborar de una forma muy ordenada y sucinta unos pequeños resúmenes, donde indicar todos los datos existentes debido a la ingente e interesante información que los arqueólogos han ido elaborando en las distintas memorias de las campañas arqueológicas. Aunque no forma parte de los objetivos de esta tesis, se incluyen como una especie de registro documental que completa el apartado del contexto de la ciudad ayudando a situar urbanística, arquitectónica y constructivamente los restos de las construcciones halladas en los distintos lugares excavados.

La **Casa del Tesoro**, datada en la segunda mitad del siglo I d. C., no representa ninguna particularidad especial en lo referente a su construcción. Presenta el patrón habitualmente utilizado en la construcción de las casas romanas, donde una serie de habitaciones rodean el *atrium* o patio principal. No obstante, es necesario matizar que no sigue los esquemas constructivos usualmente empleados en las grandes edificaciones públicas de los alrededores, especialmente del santuario de Mura (Escrivà *et al.* 2001, 13-91) sino que en su construcción se combinaron diversas técnicas edificatorias como el *opus vittatum*, *opus quadratum* y *opus africanum*. Es de destacar la buena conservación de la mayor parte de las estancias, algunas de las cuales han conservado el umbral de entrada, y la cuidada ornamentación que presentan algunas de ellas, habiendo sido revestidas con un estuco de calidad con decoración que imita a las *crustae marmorea*, muy similares a las que se documentan en la *basilica thermarum* de las termas de Mura.



Ilustración 64. Vista general de la Casa del Tesoro (Escrivà *et al.* 2001, 66).

En esta vivienda cabe destacar la denominada habitación del Tesoro, que no presentaba decoración alguna pero cuyos muros estaban realizados con grandes bloques de piedra caliza. Curiosamente, fue en esta estancia donde por debajo de su pavimento de tierra batida se descubrió, al lado de una tinaja de tamaño mediano, una jarra oculta que contenía un tesoro compuesto por casi 6.000 denarios, lo que sitúa el momento de su ocultación en la primera década del siglo III d. C. (Escrivà *et al.* 2005, 95-113)<sup>123</sup>.



Ilustración 65. Hallazgo de la jarra donde se encontraba el tesoro de denarios (Fotos: Escrivà *et al.* 2001)

Ilustración 66. Detalle del estado de conservación del tesoro de denarios (Fotos: Escrivà *et al.* 2001)

**Ca'n Porcar.** Posible *domus* romana donde en 1917 se halló el conocido mosaico de "Los doce trabajos de Hércules", expuesto en el Museo Arqueológico Nacional (Ficha Catálogo M.A.N. 38315BIS).

El mosaico rectangular (5,50 × 4,50 m) queda enmarcado por una cenefa de motivos vegetales. En el interior aparece dividido en dos zonas, una de ellas con decoración de motivos geométricos formando triángulos blancos y negros; y otra zona un poco mayor, de 3,27 m de largo por 2,43 m de ancho, representa los doce trabajos de Hércules dispuestos simétricamente alrededor del tema central, en este caso el mito Hércules y Onfale, reina de Lidia, a la que el héroe debía servir.

---

<sup>123</sup> V. ESCRIVÀ, X. VIDAL y M. GOZALBES (2005). "Lliria III. Un gran tesoro de comienzos del s. III", en A. Ribera y P. P. Ripollés (eds.): *Tesoros monetarios de Valencia y su entorno*, pp. 95-113. Valencia.

Aún se conservan *in situ* los muros en *opus vitatum* de la habitación romana donde apareció el mosaico, lo que confirmaría la existencia en el lugar de una casa romana datada en el siglo I, que perduró hasta el III d. C.



Ilustración 67. Mosaico de los doce Trabajos de Hércules. Expuesto en el Museo Nacional de Arqueología. Madrid. Foto: Gonzalo Cases Ortega. CC BY-SA 4.0. Museo Arqueológico Nacional - 38315BIS.

Esta casa fue excavada por su propietario, el Sr. Porcar, que había colaborado diversas veces con el recientemente creado Servicio de Investigación Prehistórica de la Diputación de Valencia. De la excavación, se conservan algunas fotografías en el Archivo de la Diputación, según se desprende de estas fotos y de la descripción del cronista local Luis Martí Ferrando (Martí 1986, 360-362)<sup>124</sup>.

[...] al lado del mosaico de los trabajos de Hércules van apareciendo restos de estructuras, al lado norte del mosaico se observan las huellas de una puerta pequeña, pudiendo dar paso a otras habitaciones interiores y en el lado este otra puerta mayor, con las hondas señales de los quicios laterales, en donde estaba el espigón del quicial sobre el cual se resolvía la puerta de entrada. Se va encontrar también indicios de una habitación pavimentada provista de un *hypocaustum* [...].



Ilustración 68. Mosaico de los trabajos de Hércules en Ca'n Porcar (Martí 1986, 381).

De esta última referencia, habría que deducir, tal como aparece en la fotografía publicada, que se trataría de un *hypocaustum* o *cámara de combustión* y una parrilla más propia de un horno de cerámica que de una habitación calefactada. Esta característica

<sup>124</sup> L. MARTÍ FERRANDO (1986): *Historia de la Muy Ilustre ciudad de Llíria*. Tomo I, pp. 360-362. Benaguasil.

revierte gran importancia y motiva que se deje constancia de este hallazgo en esta investigación.

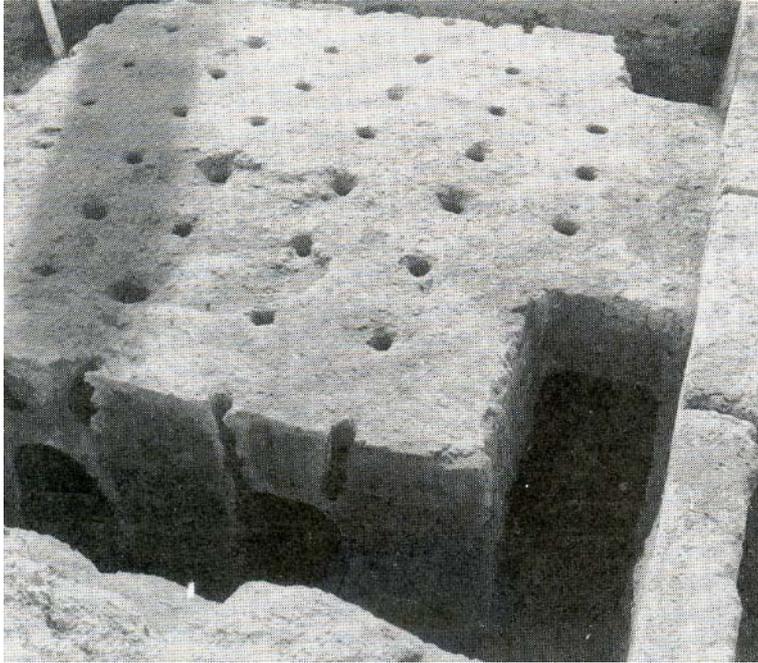


Ilustración 69. Horno cerámico en Ca'n Porcar (Martí 1986, 362).

**Domus I.** Casa romana de mediados del siglo I d. C. que perdura hasta el siglo III, momento en el que se amortizan las estructuras. Aproximadamente tendría unos 400 m<sup>2</sup>, y en su construcción se aprovechó el rebaje en el terreno que había creado una cantera a cielo abierto para la extracción de sillares en épocas anteriores. La casa, en el momento de la excavación y conforme a los restos documentados, parece articularse alrededor de un jardín porticado en el que una pequeña fuente y una piscina serían el elemento central (Vidal 2008).

La piscina es una construcción hidráulica de forma rectangular (10 m de longitud y 4 m de anchura y una profundidad media de 1,25 m) tallada parcialmente en la roca natural y construida en su tercio superior con un *opus caementicium* de excelente calidad. Por el interior presenta las esquinas redondeadas y todo está revestido con un mortero hidráulico de *opus signinum* con el fin de impermeabilizarlo. En los ángulos y en la unión de las paredes con el fondo a la construcción hidráulica se le añade una moldura de media caña que le proporciona una consistencia complementaria, ayudando a mantener la impermeabilidad. En el extremo oeste se localiza una escalera de acceso al fondo consistente en tres escalones que permiten salvar un desnivel de 1,20 m. Estos escalones realizados en sillería y revestidos con mortero tienen una huella que oscila entre los 29 y 31 cm al igual que la contrahuella.



Ilustración 70. Vista aérea de la piscina y corredor que articulan la distribución de la *Domus I* (Vidal 2008).

**Domus II.** Casa romana de mediados del siglo I d. C. que perdura hasta el siglo III, momento en que se produce la amortización de las estructuras. Aproximadamente ocupa una superficie de unos 300 m<sup>2</sup>. Se ha documentado parte de una vivienda de época romana de la que se han conservado solo algunas dependencias, ya que esta edificación se ha visto muy afectada por las obras de construcción de un muro de contención de tierras en época moderna (Vidal 2008).

La intervención arqueológica en el sector de la *Domus II* permitió identificar seis dependencias articuladas entre sí de las que se desconoce con exactitud su funcionalidad, aunque el hecho de que, en una de ellas, de la que tan solo se conserva un ángulo, se hayan documentado *lateres bessales* dispuestos en *pilae* característicos de los *hypocaustum*, puede llevar a pensar que esta estancia se correspondería con un *tepidarium* o *caldarium* de unas pequeñas termas privadas.



Ilustración 71. Detalle de las *pilae* del *hypocaustum* documentado en la *Domus* II (Vidal 2008).

Este hecho hace que las habitaciones con las que linda podrían ser estancias vinculadas a este tipo de espacio doméstico, sobre todo una dependencia anexa construida en *opus quadratum* que posteriormente fue revestido con un potente mortero hidráulico sobre el que se dispuso un enlucido decorado con motivos geométricos con la intención de imitar las vetas de las placas de mármol (*crustae marmorea*). Esta sala tiene un pavimento realizado con *opus signinum* y las paredes conservan una altura en torno a los 50 cm. Esta sala por el hecho de estar junto a la dependencia con *hypocaustum* y estar acondicionada para el contacto con el agua podría formar parte del *balnea* de la casa (Vidal 2008).

La excavación en este sector permitió documentar cómo por la parte trasera de la casa romana descrita anteriormente pasa una vía de la que se ha conservado parte del trazado y sobre todo la canalización por la que discurren las aguas sucias.

En este sector, se documentaron dos túneles de 1,78 m de altura y una anchura de 90 cm a los que se puede acceder por los respiraderos de ventilación. Estos dos túneles en sentido oeste convergen convirtiéndose en un único túnel. Esta construcción

posiblemente funcionaría como un colector que, ubicado en una calle anexa, recogería las aguas sucias de las casas romanas.



Ilustración 72. Detalle de los respiraderos de aguas sucias y de la conducción de agua limpia (Vidal 2008).

**Domus III.** Casa romana de mediados del siglo I d. C. que perdura hasta el siglo III, cuando se produce la amortización de las estructuras. Ocupando una superficie de unos 200 m<sup>2</sup> se ha documentado parte de una vivienda de época romana de la que se han conservado solo dos dependencias. Esta edificación, por lo que se observa en la intervención arqueológica, se ha visto muy afectada por el desmantelamiento de construcciones efectuado a finales del siglo III o principios del siglo IV (Vidal 2008).

La excavación permitió constatar cómo los únicos restos de la vivienda documentados se encontraban en el interior de la plataforma resultante de abandonar un frente de cantera de época Julio-Claudia y sobre el que se asienta la construcción alto imperial. Concretamente se han podido documentar dos dependencias sitas en extremos opuestos delimitadas en parte por muros construidos con sillares de piedra local, la misma que se extrae en la cantera abandonada y en parte por el rebaje del practicado en nivel geológico por el frente de cantera.



Ilustración 73. Vista aérea de los restos conservados de la *Domus* III (Vidal 2008).

En general, como se ha visto en los diferentes tipos de *domus* que se han localizado y estudiado en el *municipium* de Edeta, por sus características constructivas, sus dimensiones y su situación en la trama urbana de la ciudad, se podría concluir que Edeta, durante la época imperial (s. I-III d. C.), debería de ser una ciudad de tamaño medio, pero de un estatus social importante a tenor de las construcciones y de las infraestructuras generadas alrededor de ellas.

### 2.2.3. Construcciones públicas

Las construcciones públicas en época romana, al igual que lo que sucede hoy en día, eran aquellas que estaban destinadas a ser un bien general de la población y solían estar ejecutadas y administradas por el Estado, el Imperio, y en las ciudades por los cargos municipales, fundamentalmente los ediles.

En Edeta se han localizado diversas construcciones que, sin ser monumentales, son fundamentales para la vida cotidiana de los edetanos, caso de las instalaciones de suministro de aguas limpias, de redes de saneamiento de aguas sucias o establecimientos termales urbanos.

El interés del pueblo romano por el agua y su preocupación por disponer de este recurso en abundancia es un hecho notorio. Los romanos aplicaron sistemáticamente sus conocimientos hidráulicos en los distintos territorios que fueron ocupando. En el territorio de Edeta se conservan numerosos elementos de estas intervenciones, algunos de singular importancia y muy buen estado de conservación. Los restos mejor conservados hasta fechas recientes de intervenciones sobre el medio hídrico llevadas a cabo por los romanos en Edeta corresponden a sistemas de abastecimiento y de distribución de agua desde el manantial situado en el actual parque de Sant Vicent.

En los abastecimientos urbanos, los romanos optaron con preferencia por las tomas en fuentes o cabeceras fluviales y seleccionaron, con ello, aguas de buena calidad, aunque estuviesen lejanas al punto destino, frente a las más próximas, pero de peores características. Este hecho provocaba la necesidad de situar grandes depósitos donde almacenar el agua para su correcta distribución posterior. A estos depósitos se les denomina *castellum aquae*. Edeta no fue una excepción y la intervención arqueológica efectuada en la Partida de Mura, al norte del santuario y termas de Mura pudo identificar un gran depósito de agua en medio de un espacio público que podría ser una calle o una pequeña plaza (Vidal 2008).



Ilustración 74. Vista aérea de los restos conservados del depósito de agua (Vidal 2008).

Este depósito es una construcción hidráulica de forma cuadrangular, con las esquinas redondeadas, tallada en la roca natural y revestido con *opus signinum*. En los ángulos y en la unión de las paredes con el fondo de la construcción hidráulica se le añade una moldura de media caña que le proporciona una consistencia complementaria, y además

ayuda a mantener la impermeabilidad. En el extremo noroeste se localiza una escalera de acceso al fondo del depósito consistente en seis escalones que permiten salvar un desnivel de 2 m. Estos escalones son más estrechos en su parte superior, tienen una huella que oscila entre los 25 cm y los 40 cm del último escalón y la contrahuella se mantiene fija en 29 cm. No se han observado desagües en el interior del depósito, tan solo en la parte más profunda se aprecia un hundimiento del pavimento “arenoso” donde se depositaban las impurezas que pudiera arrastrar el agua. La construcción contaría con un muro de cierre, tal y como parecen indicar los sillares existentes en un ángulo de la construcción. El agua se subiría a la canalización a través de un ingenio hidráulico del que solo se ha conservado la impronta de su anclaje al nivel geológico.



Ilustración 75. Vista frontal del depósito de agua (Vidal 2008).

De este depósito parte, en dirección oeste, una conducción hidráulica de agua limpia, hecho que ratificaría que en este sector hubiese habido un espacio público, ya sea una calle o una pequeña plaza. La canalización está excavada en el nivel geológico, tiene unas dimensiones de 0,60 m de anchura estando el lecho ubicado a 0,70 m de profundidad, y presenta una pequeña moldura en su base para impedir las pérdidas de agua. Esta canal en su unión al depósito presenta un lecho construido en *opus signinum* con acabado muy fino. La situación entre las denominadas *Domus* I y III de Mura le otorga el carácter

público de este *castellum aquae* que pasaría a ser un repartidor de agua para las viviendas de la ciudad romana.

Otras de las construcciones más interesantes y con la misma funcionalidad que el objeto de estudio de esta investigación, corresponden a las **termas de la Puerta Este**. Se sitúan en uno de los límites urbanos de la ciudad, el sector este, y estarían destinadas a dar servicio a la población que habitaba este sector urbano, al igual que ocurre con el santuario y termas de Mura.



Ilustración 76. Vista aérea de vía de Mura con las termas del Este a la derecha (Vidal 2008).

Ocupan una superficie aproximada de 760 m<sup>2</sup>, de los cuales, 400 m<sup>2</sup> corresponden a la superficie edificada y los 300 m<sup>2</sup> restantes a las palestras o patios al aire libre. A grandes rasgos, se enmarcarían dentro del denominado tipo pompeyano, ya que la pequeña palestra corre paralela a las salas termales siguiendo los modelos ya descritos según Krencher (Krencker *et al.* 1929, 177-178<sup>125</sup>). La disposición de todas las salas es axial respecto del mismo frente (Nielsen 1990, II, 51), (Bargelini 1991, 123<sup>126</sup>), con una estructura funcional simple en la que al estar las salas dispuestas de forma alineada se

---

<sup>125</sup> D. KRENCKER, E. KRÜGER, H. LEHMANN y H. WACHTLER (1929): *Die Trierer Kaiserthermen I. Ausburgo*.

<sup>126</sup> P. BARGELINI (1991). "Le Terme Centrali di Pompei", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romains), pp. 115-128.

Roma.

impone una circulación retrógrada a los bañistas. Este establecimiento termal posiblemente cuenta con dependencias para el servicio, un patio de entrada para carros con una estancia donde se almacenaría la madera para la combustión necesaria para la calefacción de la terma. A estos espacios se accedía directamente desde la vía de Mura.

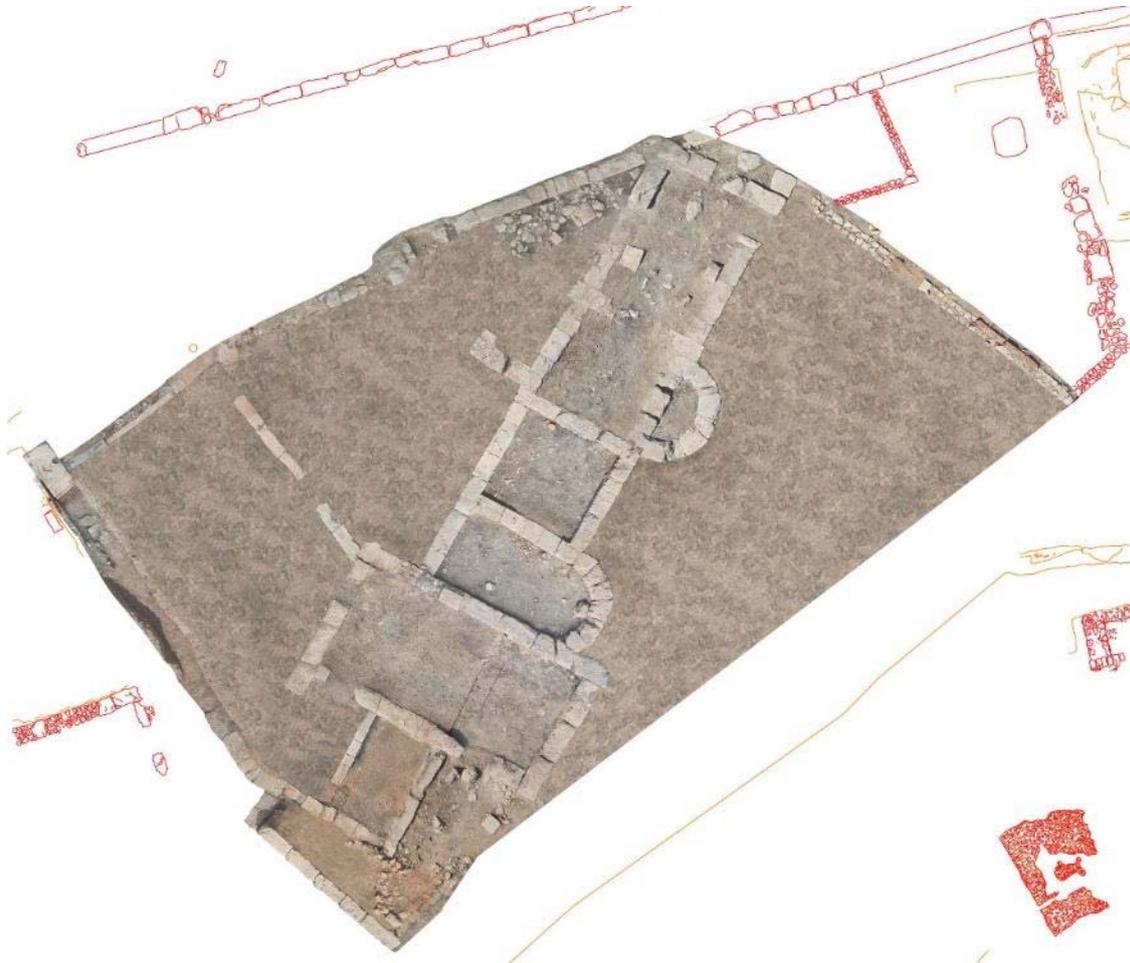


Ilustración 77. Ortofoto de las termas del Este (Vidal 2008).

Pese a que se trata de un conjunto arqueológico no excavado en toda su extensión, tras su delimitación y posterior levantamiento gráfico se puede plantear una propuesta de funcionalidad de las estancias que lo componen. Estas termas urbanas tienen unas dimensiones y distribución de salas similares a las Termas II de Labitlosa (Magallón y Sillières 1997<sup>127</sup>; Paya 2000<sup>128</sup>)

<sup>127</sup> M. A. MAGALLÓN y P. SILLIÈRES (1997). "Labitlosa (Cerro del Calvario, La Puebla de Castro, Huesca)", *Bolskan*, 14, pp. 117-156. Huesca.

<sup>128</sup> X. PAYÀ (2000). "Las termas públicas de la ciudad romana de Ilerda", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*. Gijón: VTP Editorial.

La entrada del público estaba situada en la calle de la Partida de Mura y se efectuaba a través de un gran portón, del que se conservan los umbrales de piedra azul de Alcublas, que daría paso posiblemente a un acceso realizado con una escalinata de dos escalones, que permitía salvar el desnivel del edificio con respecto a la calle y daba paso a un espacio, por el momento no identificado, pero que se podría corresponder con un distribuidor o una *basilica thermarum*. Desde este lugar, se accedía propiamente al establecimiento termal, posiblemente atravesando una *tabernae* hasta llegar al *apodytherium* o *frigidarium*. En este punto se efectuó un pequeño sondeo para comprobar el estado de conservación de la instalación y la envergadura que conservaba, y se comprobó que, en estas termas urbanas, se mantenía el mismo programa decorativo que el que se conserva en las termas dobles del santuario de Mura, es decir, pavimentos de losetas romboidales y zócalos con imitaciones de *crustae marmorea* y basamentos que utilizan la misma técnica constructiva de *opus quadratum*. De esta forma se puede manifestar la existencia de un programa muy definido y homogéneo para este tipo de instalaciones a finales del siglo I. d. C. y que hasta el momento solo han permitido documentar dos instalaciones termales con estas características.



Ilustración 78. *Tabernae* de las termas del Este. Detalle del pavimento de losetas romboidales (Vidal 2008).

Siguiendo con el itinerario, tras pasar por el *apodytherium* se accedería a través de un pequeño umbral de 90 cm de luz a una sala intermedia, con ábside, posiblemente destinada a *unctorium* y *dstrictarum*, para entrar posteriormente a un *tepidarium*, y concluir el recorrido en otra sala también con ábside, donde se ubicaría el *caldarium*. Esta sala presenta el esquema clásico de los *caldarium* pompeyanos, con un *labrum* en el ábside



mausoleos de la vía de las Termas, de época anterior a la construcción del santuario y termas de Mura, y la tercera, de enterramientos individuales, situada en la zona de Mura y que se ha denominado la necrópolis de Mura o de la Puerta Este, que parece tener su origen en la época del Bajo Imperio.

El tipo de necrópolis que debió existir en Edeta, según los testimonios que se han documentado, se caracterizó por la importante presencia de mausoleos familiares (Escrivà *et al.* 2001, 81). Junto a estas construcciones de carácter más o menos monumentales se situarían espacios a cielo abierto delimitados por muros, que albergarían en su interior tumbas señalizadas por estelas al igual que se puede observar en las necrópolis de Corduba, Carmona y Baelo Claudia (Vaquerizo 2010, 34 -45)<sup>129</sup>.



Ilustración 80. Plano del área funeraria siglo I. d. C. articulada alrededor de la vía de los mausoleos (Martínez 2008)<sup>130</sup>.

Dentro del conjunto de enterramientos de época imperial destacan por su monumentalidad los mausoleos de la calle de Sant Vicent, donde se documentaron diversas estructuras funerarias articuladas a ambos lados de una calzada romana de

<sup>129</sup> D. VAQUERIZO GIL (2010). *Necrópolis urbanas en Baetica*. Tarragona: ICAC.

<sup>130</sup> C. MARTÍNEZ CAMPS (2013). *Informe-Memoria de la intervención arqueológica efectuada solar de la Unión Musical de Liria*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura de Valencia.

4,50 m de ancho (Martínez *et al.* 1989, 68)<sup>131</sup>. En el lado este se conservaban los restos de un monumento funerario de buena factura, construido con paramentos de *opus quadratum* de piedra azul de Alcublas, sobre una cimentación de *opus caementicium*. La recuperación de numerosos restos arquitectónicos (pilastras, acanaladas, capiteles, arquivoltas, dovelas, molduras, arquitrabes y cornisa, entre otros) permitieron realizar una restitución de los edificios (Aranegui 1995, 180<sup>132</sup>; Escrivà *et al.* 2001, 81).



Ilustración 81. Maqueta con la propuesta de restitución del mausoleo romano de la calle Sant Vicent. Museo de los Mausoleos Romanos. Autor: Rafael del Pino

El primer edificio del mausoleo presenta una planta rectangular de 5,75 × 4,10 m sobre una base escalonada de dos gradas que descansa sobre unos potentes cimientos de *caementicium*. A partir de los restos conservados se puede concluir que únicamente aparece decorada la fachada principal. Los ángulos exteriores están definidos por pilastras acanaladas con bases áticas. La propuesta de reconstrucción que realizan los arqueólogos, y que se encuentra reproducida en una maqueta en el Museo de los Mausoleos Romanos, corresponde a un edificio funerario en forma de arco, con acceso directo y abierto desde la calle al interior, con un banco corrido a modo de triclinio para realizar reuniones, lecturas o simposios, y con un cerramiento estrecho, de 80 cm de luz,

<sup>131</sup> F. MARTÍNEZ, L. RIVAS, Y M.J. ARIAS. (1989). "Monumentos funerarios romanos de Lliria", *Lauro*, 4, pp. 243-251.

<sup>132</sup> C. ARANEGUI GASCÓ (1995). "Los monumentos funerarios romanos descubiertos en Edeta (Lliria, Valencia)", *Saguntum*, 29. Valencia.

a la parte posterior, tal como parece indicar el rebaje de la losa del pavimento. Sobre cuatro grandes losas perfectamente acopladas en posición horizontal apoyaría la estructura de cerramiento de la verja de acceso al *hortus* del mausoleo.



Ilustración 82. Mausoleo romano de la calle Sant Vicent. Detalle de la cámara funeraria (Escrivà *et al.* 2001, 24).

El monumento funerario propiamente dicho, de planta rectangular (6,10 × 5,10 m), se podría incluir dentro del tipo de *aedicula* cerrada sobre zócalo prismático, es decir, dentro del grupo de sepulcros turriformes compuestos de basamento, podio y cuerpo principal, entre los cuales se podrían citar el de Daimús, en Valencia, y el de la Vila Joyosa, en Alicante (Aranegui 1995, 180). La habitación interior ocupa el espacio que queda entre los muros y debía de tener una cubierta abovedada. El interior dispone de un pavimento de *opus signinum* con restos de una probable inscripción realizada con teselas. En el centro, una losa de 0,60 m de lado con orificio central para las libaciones cubre el pequeño *conditorium*<sup>133</sup> (70 × 70 × 1,40 m) rebajado en los cimientos del monumento y delimitado por cuatro sillares, en cuyo interior se recuperaron diversos objetos y restos de incineración. Entre ellos destacan algunos fragmentos de la urna de vidrio del difunto, con su tapadera, un anillo de oro con una esmeralda grabada con un Eros

---

<sup>133</sup> El *conditorium* es el lugar donde se ubica el espacio para el difunto.

entallado y un sestercio del emperador Tito (79-81 d. C.), que permiten datar el conjunto a finales de la dinastía Flavia. La vía de los mausoleos, tras el giro de 90 grados que efectúa en este lugar, seguía hacia el interior de la población, tal y como se ha documentado según la intervención arqueológica efectuada en el solar de la Unión Musical, donde se descubrieron 17 m de la citada vía, con una anchura media del vial estimada en 3,40 m.

Por último, y completando la información que proporcionan los edificios públicos más importantes de la ciudad romana, cabría resaltar el recinto funerario del Xalet de Vives (Escrivà *et al.* 2001, 86). De este monumento funerario arranca un muro que combina sillares de *opus quadratum* de piedra azul de Alcublas y sillarejos, *opus vitatum*, delimitando un recinto rectangular al cielo abierto, orientado al NE, en la parte posterior del mausoleo que deja entrever un cierto escalonamiento o podio. En su interior se documenta un pavimento de tierra compactada sobre el que se sitúan diversos enterramientos en época imperial.



Ilustración 83. Recinto funerario del Xalet de Vives. Lliria (Escrivà *et al.* 2001, 24).

#### 2.2.4. El declive de Edeta

Tal y como se ha indicado en el punto anterior, el estudio de la ciudad romana de Edeta hasta el siglo III d. C. se ha realizado a través de los datos proporcionados por conjuntos arqueológicos que presentaban materiales perfectamente datables en las épocas del siglo III e inicios del siglo IV d. C. (Escrivà *et al.* 2014).

La evidencia de la falta de indicios a partir de estos años manifiesta una crisis identificada en las distintas excavaciones por el abandono e inutilización que sufren muchos de los edificios de los dos primeros siglos del Imperio, tanto públicos como privados; estos acontecimientos y las posteriores transformaciones que tienen lugar en la ciudad se pueden rastrear a partir de los elementos materiales recuperados durante las intervenciones arqueológicas, en los que, sin duda, los materiales cerámicos son los más representativos. El conocimiento de estos hallazgos, en ocasiones, a falta de otros datos concluyentes, puede ayudar a detectar la repercusión que estos acontecimientos del siglo III d. C. y posteriores tuvieron sobre el territorio (Escrivà *et al.* 2014).

Los primeros síntomas de la crisis del siglo III en la ciudad los proporciona la ocultación de un importante tesoro de denarios imperiales en el interior de una jarra de cerámica encontrada durante las excavaciones arqueológicas en un solar de la calle Duc de Lliria 50-52 excavado en el año 1999. En su interior se habían atesorado un total de 5.990 denarios, entre los cuales las monedas del siglo II representaban el 95 % del conjunto. Las monedas más recientes del tesoro eran 11 denarios de Publia Fulvia Plautilla<sup>134</sup> datados entre los años 198 y 217 d. C. (Gozálbes *et al.* 2005<sup>135</sup>, Escrivà *et al.* 2005).

Otro conjunto cerámico, datado en la época de Alejandro Severo entre el 222 y el 235 d. C., o inmediatamente posterior, se recuperó en el año 1993 en el interior de uno de los pozos votivos de la Avda. dels Furs: el denominado "pozo 1" (Escrivà 1995, 167-186)<sup>136</sup>.

En la actualidad, continúan apareciendo interesantes restos procedentes del siglo III d. C. e inmediatamente anteriores a las transformaciones que tienen lugar en la

---

<sup>134</sup> Publia Fulvia Plautilla fue una princesa romana, brevemente emperatriz romana y la única esposa del emperador romano Caracalla.

<sup>135</sup> M. GOZÁLBES, P. P. RIPOLLÉS, V. ESCRIVÀ y X. VIDAL. (2005): "El tesoro de denarios imperiales de Lliria III (Valencia)", en C. Alfaro, M. Marcos y P. Otero (eds.): *Actas del XIII Congreso Internacional de Numismática*.

<sup>136</sup> V. ESCRIVÀ (1995). "Cerámica común romana del Municipium Liria Edetanorum. Nuevas aportaciones al estudio de la cerámica altoimperial en la Hispania Tarraconensis", *Monografías Emporitanes*, 8, pp. 167-186.

ciudad durante la segunda mitad de ese siglo, como el caso del pozo votivo de la calle Casaus 12. Del periodo inmediatamente posterior al depósito ritual del pozo de la calle Casaus, iniciado con el ascenso de Maximino el Tracio entre el 235 y el 238 d. C., se conoce una inscripción honorífica dedicada a Otacilia Severa, esposa de Filipo el Árabe (Corell 1996, 46-47)<sup>137</sup>. Esta inscripción, situada probablemente en el foro de la ciudad romana de Edeta, es la pieza epigráfica más tardía de las documentadas hasta la fecha en Lliria y marca el inicio de la decadencia y del progresivo abandono de esta importante ciudad en época imperial. Aunque son frecuentes los materiales arqueológicos de esta época, fundamentalmente cerámicas africanas de importación, se conocen otros hallazgos de monedas que van desde Gordiano III, entre 238 y 244 d. C., a Caro, entre 282 y 283 d. C. (Lledó 2001)<sup>138</sup>. Sin embargo, no se conoce ninguna construcción de nueva planta que pueda datarse con posterioridad al siglo III d. C. y las reformas o remodelaciones realizadas en edificaciones de época imperial corresponden ya al siglo V y se centran en el ámbito público del santuario y las termas de Mura (Escrivà *et al.* 2007).

A partir del año 235 d. C., deja de existir una autoridad central duradera y los soldados de los ejércitos de los *limes*<sup>139</sup> nombran a los emperadores a su voluntad. Durante este breve periodo de tiempo, en torno a unos diez años, Edeta pasaría a formar parte del denominado “Imperium Galliarum Gallicum”, creado por Póstumo en el año 260 d. C. (Drinkwater 1987)<sup>140</sup>. Tras estos años de anarquía militar, los denominados emperadores ilirios lograron reunificar el Imperio, pero, al parecer, ya no se pudo restablecer la situación alcanzada por muchas ciudades en época imperial.

Coetáneamente a esta época, solo se conoce la denominada necrópolis de Mura o necrópolis de la Puerta Este, ubicada *ex novo* en la zona noreste de la ciudad romana.

También hay que destacar el hallazgo, en una estancia situada junto a las termas mayores, de un monedero con cinco piezas datadas entre 296 y 301 d. C., con 5 *nummi*<sup>141</sup>

---

<sup>137</sup> J. CORELL (1996). *Inscripcions romanes d'Edeta i el seu territori*. Valencia: Nau llibres.

<sup>138</sup> N. LLEDÓ (2001). “Los hallazgos monetarios de Liria (Valencia)”, *Sagvntvm (P.L.A.V.)*, 33, pp. 111-129. Valencia.

<sup>139</sup> El *limes* era considerada la zona con una actividad más intensa de romanización, civilización y prosperidad

<sup>140</sup> J. F. DRINKWATER (1987). *The Gallic empire. Separatism and continuity in the north-western provinces of the Roman empire A.D.260-274*. Stuttgart: Steiner.

<sup>141</sup> Moneda de circulación más común en la época.

de Diocleciano y Maximiano (Escrivà y Llorens 1997, 49)<sup>142</sup>, (Lledó 2005)<sup>143</sup>. La presencia de este pequeño monedero parece marcar el final de la utilización de las termas dobles de Mura como balneario. Diversos elementos permiten pensar que el gran conjunto termal de la Partida de Mura deja de funcionar con normalidad a partir de la segunda mitad del siglo III d. C., puesto que se documentan diversas colmataciones que imposibilitan el uso de ciertas estancias imprescindibles para el correcto uso de estos establecimientos, como son las canalizaciones de llegada de agua limpia, las cloacas de aguas residuales y la *natatio* de la palestra.



Ilustración 84. Necrópolis de la Puerta Este. Tumbas excavadas en el nivel geológico (Vidal 2008).

---

<sup>142</sup> V. ESCRIVÀ y M. M. LLORENS (1997): "Partida de Mura (Llíria, València)", en *Monedes d'ahir, tresors de hui*, p. 49. València.

<sup>143</sup> N. LLEDÓ (2005). "Un monedero de fines del s. III encontrado en Edeta", en A. Ribera y P. P. (ed.): *Tesoros monetarios de Valencia y su entorno*, pp. 155-160. Valencia.



Ilustración 85. Excavación del relleno del siglo III d. C. que amortizaba la *natatio* de las termas mayores (Escrivà *et al.* 2014, 263).

A inicios del siglo V d. C. se constata una ocupación de los espacios situados en torno al santuario de Mura con la colmatación de los pozos votivos excavados en el terreno natural, cuya construcción afectó a espacios con edificaciones imperiales, confirmando el abandono de estas y la continuidad de cultos paganos de carácter agrícola presentes en la ciudad desde el siglo I d. C. al V d. C. (Escrivà *et al.* 1995). Estas fechas coinciden aproximadamente con el reinado de Teodosio, emperador que convierte el cristianismo en la religión oficial y ordena, en el edicto de Constantinopla de 381, duras penas a los que celebren sacrificios y vayan a los templos paganos.

Es generalmente aceptada la opinión de que partir del 409 d. C., si no antes, en numerosos municipios las curias municipales y los curiales pierden sus funciones y obligaciones, que son transferidas a la jerarquía eclesiástica, constituida por muchos miembros de la antigua aristocracia hispanorromana. En este contexto, hacia mediados del siglo VI d. C., coincidiendo a grandes rasgos con el reinado de Theudis (531-548) y con el pontificado del obispo Justiniano, se aprecian los primeros indicios de la nueva reutilización del antiguo santuario oracular. Es una época prolífica en la creación de monasterios, cuyos abades ostentarán cargos importantes dentro de la jerarquía eclesiástica, como por ejemplo el obispo Justiniano, miembro de la élite eclesiástica y

procedente de la antigua aristocracia hispanorromana, que según Rosselló (Rosselló 1996, 72)<sup>144</sup> debió introducirse en la sede valentina como monje de algún monasterio del cual llegaría a ser abad.

Es tentadora la hipótesis de que el conjunto monumental de Mura, edificio público en época imperial, se convierta en un monasterio cristiano promovido por un gran propietario, a quien la conversión en abad le permitiría continuar conservando sus dominios y sus servidores, teniendo como gran ventaja su independencia respecto de la autoridad episcopal, como se estipula en el Concilio de Lérida del año 546. La tipología del edificio, la presencia de elementos litúrgicos y la proliferación de enterramientos en su interior así parecen indicarlo.



Ilustración 86. Fotografía aérea de los enterramientos correspondientes a la antigüedad tardía situados sobre los edificios del santuario y termas de Mura (Escrivà *et al.* 2014, 85).

Por estas mismas fechas, se documenta el final de la primera etapa de la antigüedad tardía en Lliria, marcada por la amortización del *hypocaustum* del *destrictarium* de las termas mayores. El material recuperado en su interior es excepcional debido a la abundancia de objetos de procedencia egipcia, muchos de ellos vinculados con la religión copta. Aparecen dos lámparas caladas con decoración central en la que se

---

<sup>144</sup> M. ROSELLÓ (1996). "El yacimiento de València la Vella (Riba-roja de Túria, Valencia). Algunas consideraciones para su atribución cronológica y cultural", Q.P.A.C., 17.

representa una cruz copta fechada en la segunda mitad del siglo VI d. C. A partir del año 589, el antiguo *municipium* de Edeta continuaría formando parte del territorio de Valentia, definitivamente integrada en la monarquía visigoda de Leovigildo que junto a Xàtiva (antigua Saetabis Augusta) formarían parte del *limes* en época de Leovigildo, pues su sede episcopal aparece representada en el III Concilio de Toledo de 589 (García Moreno 1989, 121)<sup>145</sup>.

### 2.2.5. Marco Cornelio Nigrino

Las grandes obras públicas, entre ellas los grandes establecimientos termales, requerían de una ingente cantidad de medios económicos, tanto para la construcción como para el funcionamiento diario y el mantenimiento. Así en la construcción de algunos espacios termales, se emplearon diversos medios de financiación promovidos desde el erario público (*aerarium*) o directamente con aportaciones directas del emperador (*fiscus*). En otras ocasiones, eran los gobernadores provinciales, cargos senatoriales o ricos particulares quienes se implicaban en estas construcciones aportando grandes cantidades de dinero para promocionarse en la política local o senatorial.

Era frecuente que el gobernador provincial o algún senador consular decidiera contar con mano de obra militar durante los periodos de estacionamiento, ya que el ejército proporcionaba una mano de obra especializada abundante y a bajo precio, lo cual le permitía a los cargos político-militares mostrar su evergetismo<sup>146</sup> (Vega 2008, 56)<sup>147</sup>.

Estos militares, habituados a un alto ritmo de trabajo en periodos de actividad bélica, trasladaban el mismo vigor cuando participaban en la ejecución de las grandes obras de ingeniería civil, desde vías, puentes o acueductos a grandes complejos públicos, caso de establecimientos termales, eso sí, todo ello supervisado por los arquitectos e ingenieros militares. Su eficacia residía en su disciplina y especialización que les proporcionaba un alto grado de organización lo que les permitía planificar las obras de forma detallada sin dejar ningún detalle al azar. Era bastante frecuente que los legionarios trabajaran en la extracción de piedra en las canteras, como por ejemplo narra la curiosa carta de un

---

<sup>145</sup> L. GARCÍA MORENO (1989). *Historia de la España Visigoda*. Madrid: Cátedra.

<sup>146</sup> El evergetismo es un término introducido en 1923 por el historiador francés André Boulanger que se deriva del verbo griego εὐεργετέω y del sustantivo "evergesia", ευεργετισμός, que significa "hacer el bien" o "hacer buenas obras".

<sup>147</sup> T. VEGA AVELAIRA (2008). "El ejército y las obras públicas en el imperio romano: el desarrollo de las comunicaciones terrestres", en *IV Congreso de las obras públicas en la ciudad romana*.

legionario, en la que describe que le van a trasladar a un puesto administrativo pues no quería desempeñar las duras tareas de picar piedra (Vega 2008, 64).

Los trabajos en grandes obras realizadas por soldados acuartelados en un territorio no era un mero capricho sino una decisión política cuyo objetivo primordial radicaba en impedir a los soldados volverse ociosos e indisciplinados y así mantener a la tropa en buenas condiciones físicas, además de portar una mejora en el desarrollo económico a las diferentes regiones del Imperio (Le Bohec 2004, 186)<sup>148</sup>.

Este podría ser el caso de las termas de Mura, ya que se piensa que en la construcción de este gran complejo religioso y lúdico participó de forma activa alguna centuria estacionada en la zona en aquel momento. Durante los años 80-83 d. C., el edetano Marco Cornelio Nigrino Curiatio Materno era gobernador de la provincia imperial de Aquitania y tenía una fuerte ascendencia en los órganos de poder, por lo que posiblemente, a través del también edetano Valerius Propinquus Grattius Ceralis *praefectus fabrum*<sup>149</sup> en la provincia Tarraconense (Álvarez 2013, 131)<sup>150</sup>, gestionase la participación del ejército estacionado, dentro de un acto de evergetismo (Vega 2008, 56).

Esta hipótesis aparece avalada por las inscripciones del siglo I d. C. que se han localizado en la intervención arqueológica del santuario y termas de Mura que hacen referencia a la figura de Marco Cornelio Nigrino Curiatio Materno, concretamente una placa honorífica de mármol blanco posiblemente procedente de las canteras de carrara localizada en el interior de la *natatio* de las termas masculinas con la leyenda "...NIG....CO...", que se puede transcribir como Nigrino Cónsul.

Además, se han localizado dos fragmentos de un gran friso de piedra caliza local, con las leyendas "...RIN...", de NIGRINUS, y "...F...G", de F(ili) G(aleria), respectivamente, que están atribuidos al senador consular edetano M. Cornelius Nigrinus (Corell 1998, 136), y teniendo en cuenta las extraordinarias dimensiones de la inscripción, letras de 23 cm de altura, no se descarta un posible emplazamiento en el friso de la *basilica thermarum* de las termas mayores de Mura, lugar donde se encontró.

---

<sup>148</sup> Y. LE BOHEC (2004). *El ejército romano instrumento para la conquista de un imperio*. Arid Grandes Batallas. Barcelona: Ariel.

<sup>149</sup> *Praefectus fabrum* es el oficial jefe de ingeniería militar con amplios poderes en un territorio.

<sup>150</sup> A. ÁLVAREZ MELERO (2013). "Los *praefecti fabrum* oriundos de las provincias hispanas. Una nueva aproximación", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, 26, pp. 123-154.



Ilustración 87. Inscripción honorífica hallada en la *natatio* de las termas mayores. Fotografía facilitada por Xavier Vidal.



Ilustración 88. Inscripción honorífica de M. Cornelio Nigrino localizada en la *basilica thermarum* de las termas mayores. Fotografía facilitada por Xavier Vidal.

La figura de Marco Cornelio Nigrino Curiacio Materno no es muy conocida en la historia de la ciudad, aunque debió de tener mucho poder e importancia, ya que llegó a ser senador y candidato al trono imperial<sup>151</sup>.

Marco Cornelio Nigrino prospera en la vida pública romana por estar en el sitio adecuado en el momento adecuado, tomando la decisión de apoyar a Vespasiano en su lucha por acceder al mandato imperial. Además, contaba con el apoyo de su familia tanto paterna como materna. Nigrino es hijo de una terrateniente de la Tarraconense que se casa con una Curiacia Materna, familia de la Bética con senadores de origen itálico, posiblemente la hermana del orador Curiacio Materno, interlocutor principal del Diálogo de los Oradores de Tácito, personaje popular en el senado y que abriría las puertas del mismo a su familiar.

La trayectoria política y militar de Nigrino se deduce de las diversas inscripciones honoríficas que se han localizado en varias localizaciones de Edeta y alrededores. Además, en los últimos años se han recuperado inscripciones en algunos de los lugares en los que gobernó e incluso un diploma militar datado en el año 93 d. C. en el que se especifica que estaban bajo el mando de Nigrino en Siria, definiendo una trayectoria político-militar muy interesante por lo extensa y sobre todo por la rapidez con la que promociona (Alföld y Halfamn 1973).

Domiciano, al final de su reinado, envía a sus hombres de confianza a las provincias de mayor importancia. A Nigrino lo envía a Siria, donde pasa a ser el gobernador de una de las provincias más ricas del imperio como legado *propretor consular* y comandante de la poderosa armada de Siria.

Años antes de la muerte del emperador Nerva, se inicia la búsqueda de un sucesor, lo que crea tensiones entre los miembros más allegados, pues había diferentes opiniones al respecto de las características que debía de reunir el sucesor del emperador. En Roma, a finales del siglo I d. C., hay un partido o grupo de presión de hispanos en las altas esferas del Estado ascendidos en época de Vespasiano, que son capaces de proponer dos candidatos al Imperio, Marco Ulpio Trajano y Marco Cornelio Nigrino. A favor de Nigrino estaba su excelente carrera militar, pues representaba un referente en las legiones. En su contra estaba la edad y la ascendencia familiar, ya que no pertenecía a la nobleza más reciente, y no tenía ni el prestigio ni las influencias que poseía Trajano, que consiguió el apoyo de las principales familias hispanas e incluso de la narbonense.

---

<sup>151</sup> Según la bibliografía consultada, llegó a ser *vir militaris* de primer rango y *capax imperi*, que desde su Edeta natal en la Hispania Citerior le abrirían el camino para ser cónsul, senador de Roma y gobernador de Siria, optando al Imperio junto con Trajano.



Ilustración 89. Inscripción honorífica de M. Cornelio Nigrino con su *cursus honorum*. Fragmentos originales y reintegrados expuestos en el Museo Arqueológico de Llíria.



Ilustración 90. Transcripción de la inscripción: “Marco Cornelio, hijo de Marco de la tribu Galeria, Nigrino Curiatio Materno, cónsul, tribuno militar de la legión XIII gemina, pretor con los emperadores Vespasiano y Tito, legado augusto de la legión VIII Augusta, propretor de la Provincia Aquitania, legado propretor de la provincia de Moesia, recibió por la guerra en la Dacia dos coronas murales y dos coronas vallares y dos coronas clásicas y dos coronas áureas y hasta ocho hasta purae y ocho vexilliae, legado augusto propretor de la provincia de Siria”.

Además, se agregó una campaña de desprestigio encabezada por autores como Plinio el Joven, quien toma partido por Trajano y escribe, aunque sin nombrarlo, que uno de los candidatos al trono disponía de un poderoso ejército en oriente “...orientem amplissimum exercitum...” y lo postula como un posible dictador. Está claro que se refiere a Marco Cornelio Nigrino, gobernador de Siria y prestigioso militar (Alföldy y Halfmann 1973).

Finalmente, después de la elección de Trajano por el emperador Nerva, Nigrino renuncia a ser candidato al trono para evitar una guerra civil y es relevado de sus funciones en Siria en el año 97 d. C., lo que frena en seco su meteórica carrera política hasta este momento, ya que no opta ni a los proconsulados de África o Asia, como hubiera sido lo normal al haber pasado más de 14 años desde que había sido nombrado *consul suffectus*.

Todo parece indicar que Marco Cornelio Nigrino fue víctima de una *damnatio memoriae*<sup>152</sup>, aunque no se conserva ninguna orden senatorial que la declare. Es curioso que ni Plinio en su correspondencia, en la que por otro lado exalta a Trajano, ni Dion Casio en sus escritos sobre las guerras Dácicas, mencionan su nombre. No obstante, también resulta significativo que no exista en Roma ninguna dedicatoria que hable sobre los logros, la brillante carrera militar y política de uno de los cinco senadores consulares más laureados de la historia militar romana.

A partir de la adopción de Trajano por Nerva, Cornelio Nigrino desaparece de la vida pública tanto política como militar, retirándose en su ciudad natal Edeta, donde posiblemente, ayudó a construir las fantásticas termas dobles de la partida de Mura y a empezar a disfrutar de la naturaleza y de su familia dejando el campo libre y el Imperio a Marco Ulpius Traianus, entonces gobernador de Germania Superior y nombrado *optimus princeps*<sup>153</sup>.

---

<sup>152</sup> Locución latina que significa literalmente “condena de la memoria”. Era una práctica de la antigua Roma consistente en, como su propio nombre indica, condenar el recuerdo de un enemigo del Estado tras su muerte.

<sup>153</sup> *Optimus princeps* es el nombre otorgado en una declaración del Senado romano como mejor gobernante del Imperio.

### 2.3.SANTUARIO Y TERMAS DE MURA

La partida de Mura, conocida también como Pla de l'Arc, es la zona de la ciudad de Lliria con mayor concentración de restos de época romana y uno de los pocos espacios urbanos donde su testimonio sigue enterrado y es posible la integración de las construcciones, ya que no han sido excavadas en su totalidad.

En el año 1971, Domingo Fletcher y Milagros Gil-Mascarell, iniciaron en la zona del santuario de Mura la primera excavación urbana de época romana en la ciudad de Lliria que tuvo continuidad en la excavación de la calle Gerard Ferrando dirigida por F. Martínez y Jordi Gómez, donde aparecieron diversos restos monumentales que la posterior intervención en extensión puso en relación con las termas femeninas de dicho complejo (Gómez *et al.* 1991, 95-101)<sup>154</sup>.



Ilustración 91. Restos arqueológicos de la palestra de las termas menores en la U.E. 5. Pertenecientes a la excavación realizada por F. Martínez y J. Gómez (Gómez *et al.* 1991).

<sup>154</sup> J. GÓMEZ, A. MARIMÓN, F. MARTÍNEZ y A. SABATER (1991). "Excavacions al nucli urbà de Lliria: zona de Gerard Ferrando", en *I Congrés d'Estudis Comarcals del Camp de Túria*, pp. 95-101. Valencia.

De los vestigios conservados se podía intuir la monumentalidad de los restos aparecidos durante la intervención arqueológica iniciada a finales del año 1994 y que gracias a las posteriores y continuas campañas de excavación realizadas por el equipo de arqueólogos Vicent Escrivà, Xavier Vidal y Carmen Martínez y al proyecto de intervención y valorización redactado en el año 2009 por el equipo del Servicio de Arquitectura de la Conselleria de Cultura de la Generalitat Valenciana, coordinado por el Dr. arquitecto Julián Esteban Chapapría<sup>155</sup>, han permitido documentar aspectos que nos ayudan a comprender y a recuperar patrimonialmente una de las obras públicas más singulares y significativas de la ciudad de Lliria y posiblemente de la Tarraconensis (Esteban 2015, 85-108)<sup>156</sup>.

El santuario se puede definir como un gran complejo religioso y curativo de unos 20.000 m<sup>2</sup>, en el que se definen diversos ámbitos: una área religiosa con templos articulada alrededor de un santuario oracular; dos edificios termales de grandes dimensiones, para hombres y para mujeres, como complejos lúdicos y como balnearios curativos; un *hospitia*, u *hostal*, para albergar a los visitantes; diversas tabernas; dependencias relacionadas con el personal y los servicios necesarios para el buen funcionamiento del santuario, cuadras para las caballerías, etc.

El emplazamiento original del santuario debía tener un carácter suburbano (Mar 1990, 137-160)<sup>157</sup> y por tanto fuera del *pomerium* de la *urbs*, probablemente vinculado con un lugar que ya había sido objeto de culto en época ibérica (Alfayé y Marco 2014, 55)<sup>158</sup>. Tanto el conjunto como los edificios que lo integran parecen tener un carácter público. Tal y como hemos dicho anteriormente, su construcción sería probablemente financiada por el senador consular M. Cornelius Nigrinus Curiatius Maternus, originario de Edeta (Alfölyf y Halfman 1973).

---

<sup>155</sup> El equipo redactor del documento estaba integrado por los arquitectos Julián Esteban, M.ª Elisa Moliner, Iván García, Liliana Palaia y José Monfort, los arqueólogos Vicent Escrivà, Xavier Vidal, Carmen Martínez y los arquitectos técnicos M.ª Soledad Martí y Santiago Tormo.

<sup>156</sup> J. ESTEBAN CHAPAPRÍA y E. MOLINER CANTOS (2015). "Estudios de arquitectura romana. Las termas mayores de Mura, Lliria (Valencia)", *Papeles del Partal*, 7. Academia del Partal.

<sup>157</sup> R. MAR (1990). "El Santuario de Hércules y la urbanística de Ostia", *Archivo Español de Arqueología*, 63, pp. 137-160. Madrid.

<sup>158</sup> S. ALFAYÉ y F. MARCO (2014). "Santuarios en canteras y romanización religiosa en Hispania y Gallia", en J. Mangas y M. A. Novillo (ed.): *Santuarios suburbanos y del territorio de las ciudades romanas. Monografías del ICCA*, pp. 53-86. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.



Ilustración 92. Plano del “Proyecto de intervención y valorización del Santuario oracular y Termas de Mura”. Se superpone la trama histórica con la actual trama urbana. Autor: Julián Esteban Chaparriá.

En el santuario de Mura existe una relación clara entre las termas y los edificios religiosos. Los edificios de culto se encuentran ubicados delante de las termas, en el lado noreste de la confluencia de las calles denominadas de los Templos y de las Termas, lo que hace presuponer que todo este conjunto formaría parte de un complejo con una proyección unitaria promovido e ideado bajo la dinastía Flavia y finalizado bajo Domiciano.

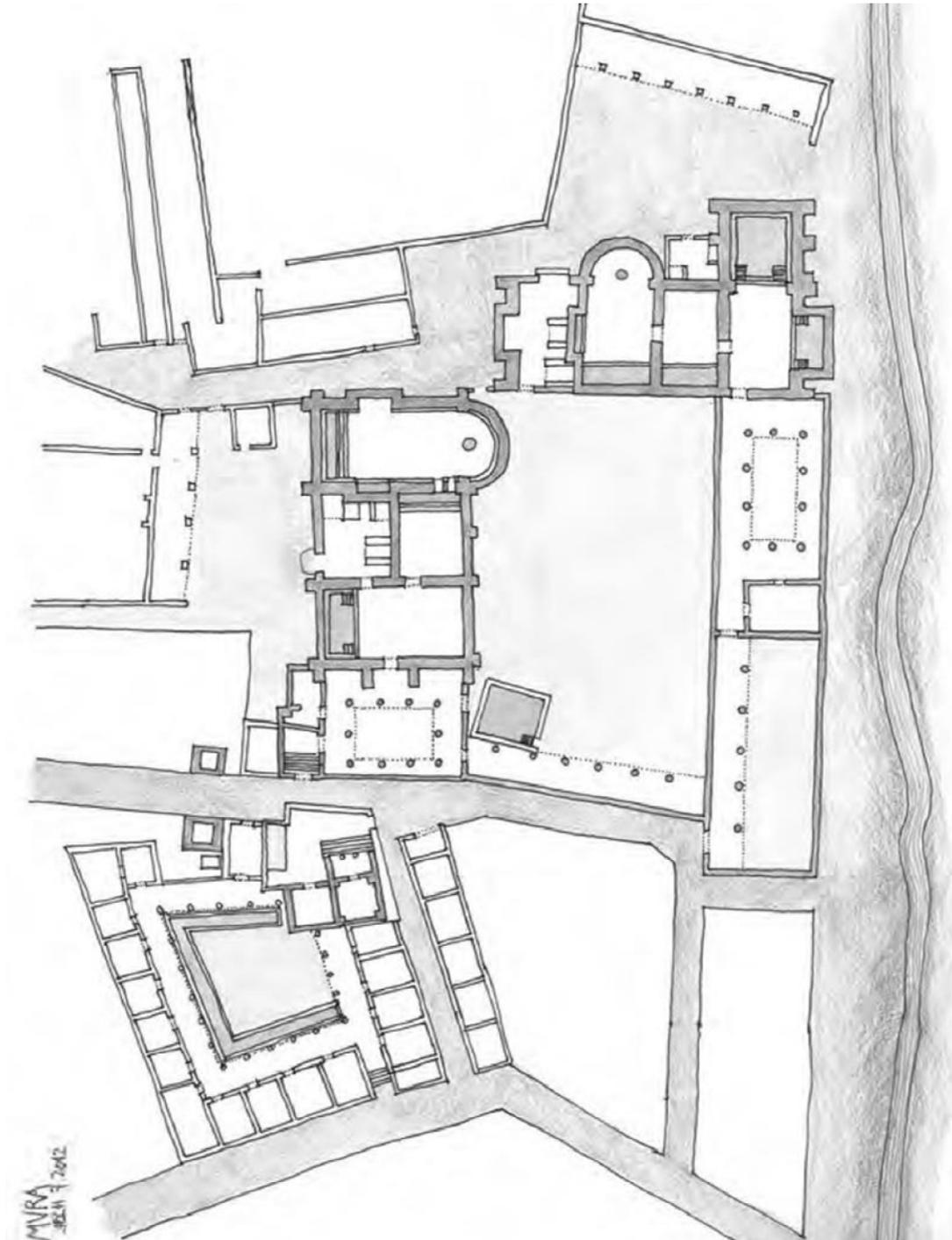


Ilustración 93. Idealización del complejo del santuario oracular y de las dobles termas de Mura. Autor: Julián Esteban Chapapría (Esteban 2015, 88).

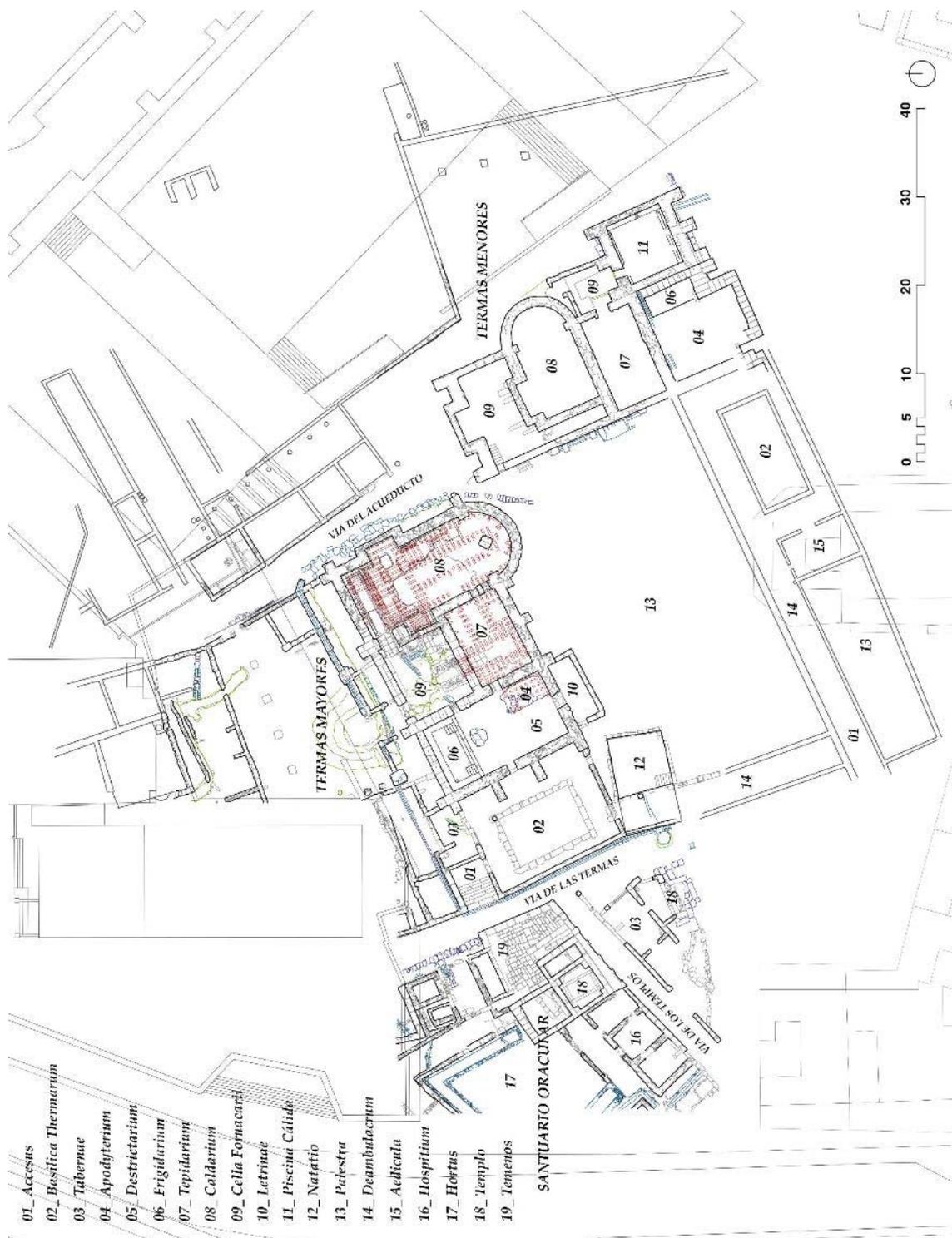


Ilustración 94. Planta del complejo termal y del santuario oracular con la designación de cada sala, calles y trama urbana actual.

Así, en la 1ª manzana se documentan los restos de un edificio en forma de templo griego, que bien podría ser realmente un templo o bien un monumento funerario levantado junto a la vía de acceso a la ciudad romana. Junto a este edificio, en la esquina sur de la calle de los templos y de las termas, fue construida una taberna, una instalación comercial permanente con trastienda que conservaba restos de las pinturas al fresco de sus estancias.



Ilustración 95. Recreación virtual correspondiente al “Proyecto de intervención y valorización del Santuario oracular y Termas de Mura”. En esta imagen se aprecian los edificios de la calle de las termas con el templo a la izquierda y la *basilica thermarum* a la derecha. Autor: Global Mediterranea S. L.

En la 2ª manzana, se conservan los restos de una construcción que se ha optado por denominar *hospitia* u *hospitalia*, a la que se accedería desde la calle a través de una o dos puertas (*ostium*) situadas en la fachada oeste. Se documentan diversas estancias agrupadas en torno a un patio central descubierto, envuelto en tres de sus lados por una columnata, un pórtico, un corredor, una *ambulatio* que configura una especie de *domus* de peristilo. En el centro se encontraría un jardín con árboles y plantas rodeado en tres de sus lados por una alberca rellena de agua.



Ilustración 96. *Hospitia* y templo del santuario de Mura después de la intervención en 2015.



Ilustración 97. Recreación virtual de la *hospitia* y el templo según el “Proyecto de intervención y valorización del Santuario oracular y Termas de Mura”. Autor: Global Mediterranea S. L.

Junto a este edificio se conservan los restos de un probable templo hexástilo, demolido al construir el *thesauroi*<sup>159</sup>. Esta nueva construcción se encuentra delimitada por un *temenos* o *temenoi*<sup>160</sup>, e incluye en su interior un templo próstilo, dístilo, *in antis*. En el centro se conservan los restos de una cámara subterránea de 2,96 × 1,75 × 1,34 m construida con grandes losas que descansan directamente sobre el terreno natural. Adosado al templo se encuentra una *aedicula* de planta prácticamente cuadrada utilizada posiblemente como estancia para depositar los exvotos y las ofrendas (Escrivà *et al.* 2001).



Ilustración 98. Fotografía de la cámara secreta situada en el templo del complejo del santuario oracular al finalizar las obras de la intervención en 2012.

En la 3ª manzana se sitúan los dos edificios termales y las dependencias de servicios. Las termas dobles ocupan una superficie aproximada de 3.600 m<sup>2</sup>, de los cuales 2.100 m<sup>2</sup> corresponden a la superficie edificada y los 1.500 m<sup>2</sup> restantes a las palestras o patios al aire libre. A grandes rasgos, se enmarcarían dentro del denominado tipo pompeyano, ya que la palestra corre paralela a las salas termales (Krencker 1929, 177-178). No obstante, tienen dimensiones más propias de las termas imperiales del siglo II (Escrivà 1995, 238). La disposición de todas las salas es axial respecto del mismo frente (Nielsen 1990, II, 51) y tienen un itinerario básico y retrógrado tan característico en estas disposiciones.

---

<sup>159</sup> El *thesauroi* es pequeño edificio destinado a albergar las ofrendas de los ciudadanos y que presentaba una gran riqueza en su decoración.

<sup>160</sup> El *temenoi* o *temenos* es el lugar sagrado anexo al templo reservado para la adoración de los dioses.

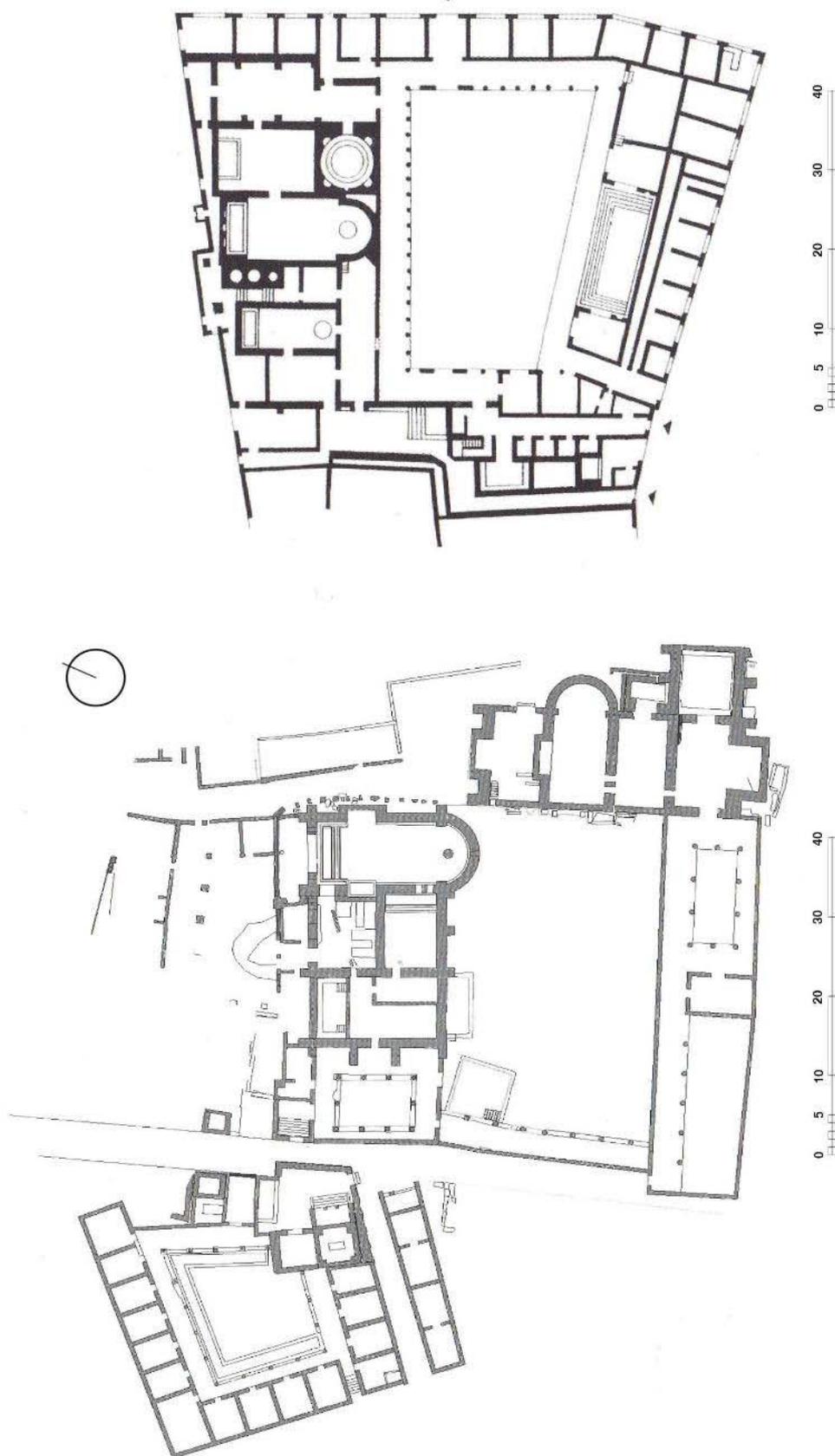


Ilustración 99. Plano del santuario y las termas de Mura comparado con las termas Stabiae de Pompeya (Esteban 2015, 89).

Las características propias del edificio permiten relacionarlo con unas termas curativas vinculadas directamente con el santuario oracular (Aupert 1991, 185-192)<sup>161</sup>; (Scheid 1991, 205-216)<sup>162</sup>.

La procedencia del agua en todo el complejo tiene una doble posibilidad para su abastecimiento. La primera, y con toda seguridad la más probable, se basa en el suministro procedente del manantial de Sant Vicent situado a unos 3 km, fuente natural donde se encontraba el Templo de las Ninfas; o bien, un afloramiento de agua caliente próximo al santuario y ubicado en el actual parque de la Bombilla<sup>163</sup>. Estas hipótesis serán desarrolladas en el capítulo siguiente, que trata de ampliar todos los conceptos y aspectos referidos al sistema hídrico.

La monumentalidad del complejo y la calidad técnica en la ejecución de los distintos sistemas constructivos que a continuación se detallan son, sin duda, el resultado de una planificación previa en la que han intervenido diferentes agentes para conseguir una funcionalidad en la instalación y en el complejo arquitectónico. Además de un diseño homogéneo, se trataría de una obra de rápida ejecución, hecho que da sentido a la gran uniformidad tanto constructiva como estética que presenta este conjunto (Puche 2010, 24)<sup>164</sup>.

La visión del exterior predomina directamente sobre los muros portantes, que están asentados directamente sobre el estrato rocoso y que presentan siempre la misma factura constructiva. La técnica utilizada es la del *emplecton* (dos hojas de sillares de piedra caliza local de gran tamaño con un núcleo de *opus caementicium* que los traba). La apariencia externa es la de un *opus quadratum*, a partir de un metro sobre la cota pisable utilizando grandes sillares de piedra caliza local (1,20 × 0,90 m) dispuestos a soga y tizón. Los pavimentos de las salas alternan entre los de *opus signinum* en las salas al aire libre o frías y los cerámicos en las salas calientes, que siempre son de losetas romboidales, formando motivos de espigas. Los aplacados decorativos<sup>165</sup> son muy uniformes, tanto en el

---

<sup>161</sup> P. AUPERT (1991). "Les thermes comme lieux de culte", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romains), pp.185-192. Roma: Ecole française de Rome.

<sup>162</sup> J. SCHEID (1991). "Sanctuaires et thermes sous l'Empire", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romains), pp. 205-216. Roma: Ecole française de Rome.

<sup>163</sup> Estas hipótesis están basadas por las concreciones calcáreas que se mantienen en algunas zonas de las canalizaciones del complejo.

<sup>164</sup> J. M. PUCHE FONTILLES (2010). "Los procesos constructivos de la arquitectura clásica. De la proyección a la ejecución. El caso del Concilium Provinciae Hispaniae Citerioris of Tarraco", *Arqueologia de la Arquitectura*, 7, pp. 13-41. Madrid.

<sup>165</sup> Procedentes de los rellenos existentes en las amortizaciones de material de cada sala.

material lapidario utilizado, normalmente mármol de Buixcarró para placas parietales corridas, y mármol blanco, posiblemente de Macael, para dinteles, jambas o elementos arquitectónicos con decoración.



Ilustración 100. 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 2015, 89).

La traba de estos muros estructurales se resuelve “en cremallera”, sin atestar los muros de una sala con los de otra, de forma que es bastante complicado determinar la datación de cada elemento constructivo, lo que confirma el concepto de planificación previa de la obra. Hecho que queda reforzado por las obras de ingeniería hidráulica que se pueden observar en el conjunto termal tanto de entrada de aguas limpias como de recogida de aguas sucias, conducciones que no alteran la estructura del edificio, sino que están planificadas para su paso por vanos o espacios habilitados previamente en obra, de forma que no se altere la capacidad portante de los muros. Los *hypocaustum* también presentan una gran uniformidad, tanto en las características morfológicas de los materiales latericios utilizados<sup>166</sup>, como en su disposición y colocación en obra en la que se mantienen siempre soluciones constructivas similares.

Una vez descrita la estructura de todo el complejo termal, procede ahora explicar sala por sala los sistemas constructivos y materiales que lo definen. Esta información ha sido

---

<sup>166</sup> En todo el conjunto se observan los mismos patrones.

posible en parte por los trabajos desarrollados durante las reiteradas excavaciones realizadas por los arqueólogos Vicent Escrivà, Xavier Vidal y Carmen Martínez, complementados también por el proceso vivido durante las obras de intervención (2009-2014) promovidas por la Dirección General de Patrimonio y proyectadas y dirigidas por Julián Esteban Chapapría, jefe del Servicio de Arquitectura de la Conselleria de Educación y Cultura de la Generalitat Valenciana.

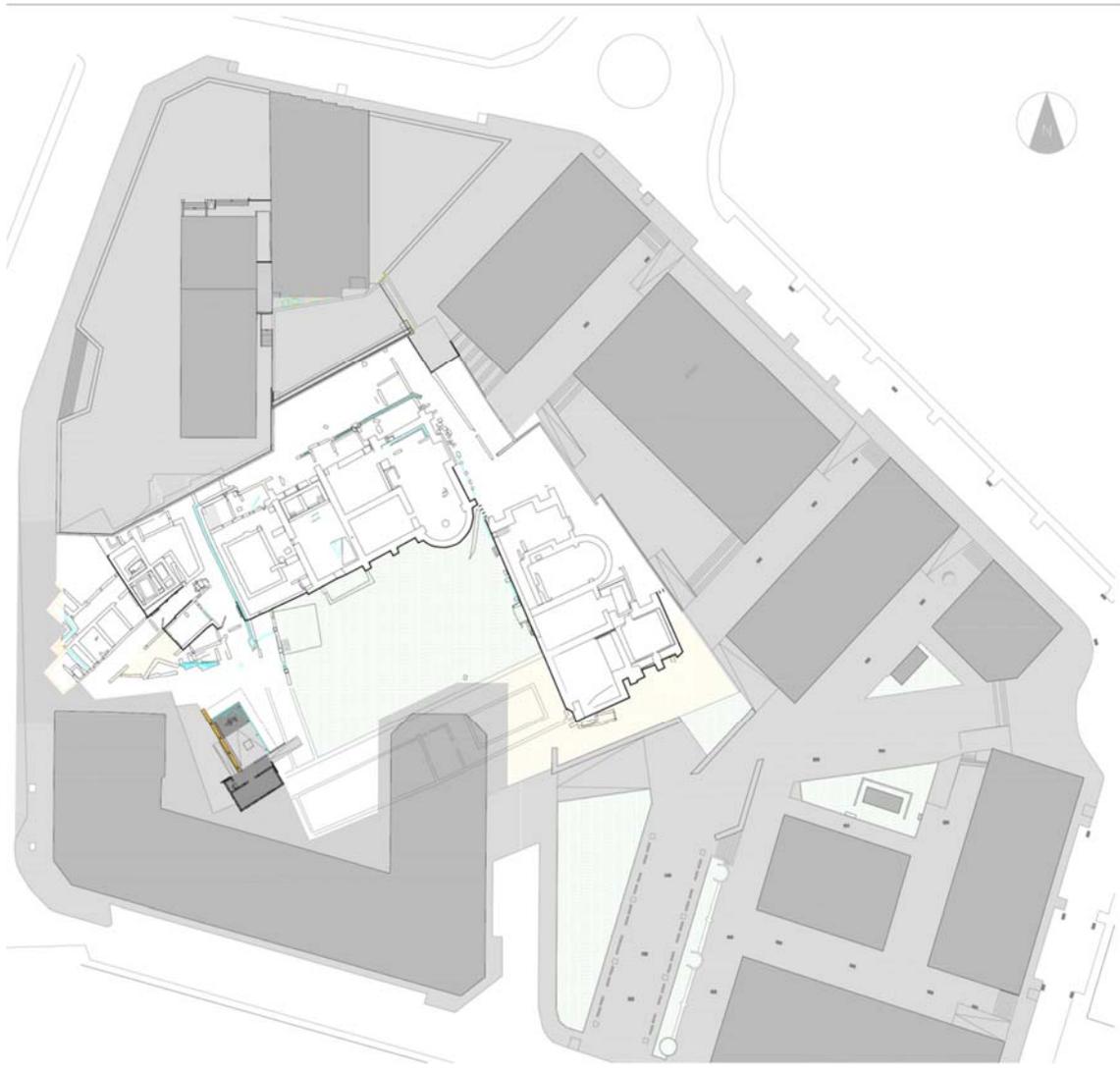


Ilustración 101. Planta del complejo termal y del santuario oracular de Mura extraído del proyecto de intervención de la Generalitat Valenciana, coordinado por Julián Esteban en 2009.



Ilustración 102. Fotografía aérea del complejo antes del inicio de la intervención en 2010. Foto procedente de la memoria de la intervención coordinada por Julián Esteban.

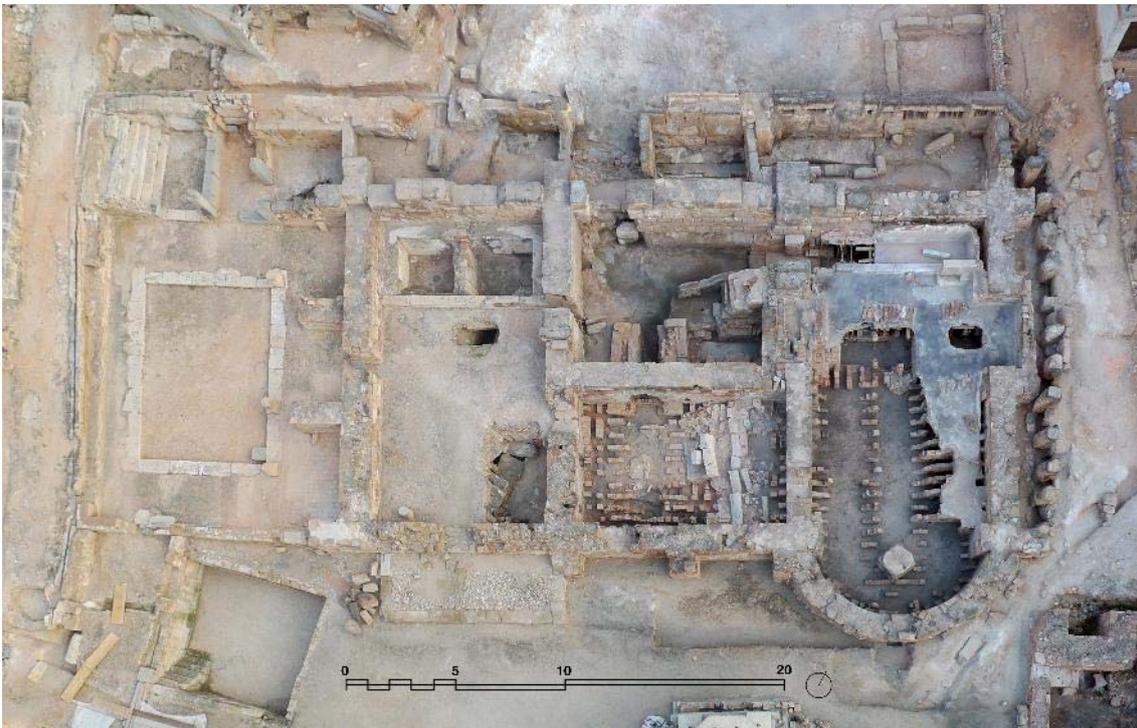


Ilustración 103. Foto aérea de las termas mayores tras su excavación y antes de la intervención de 2011.

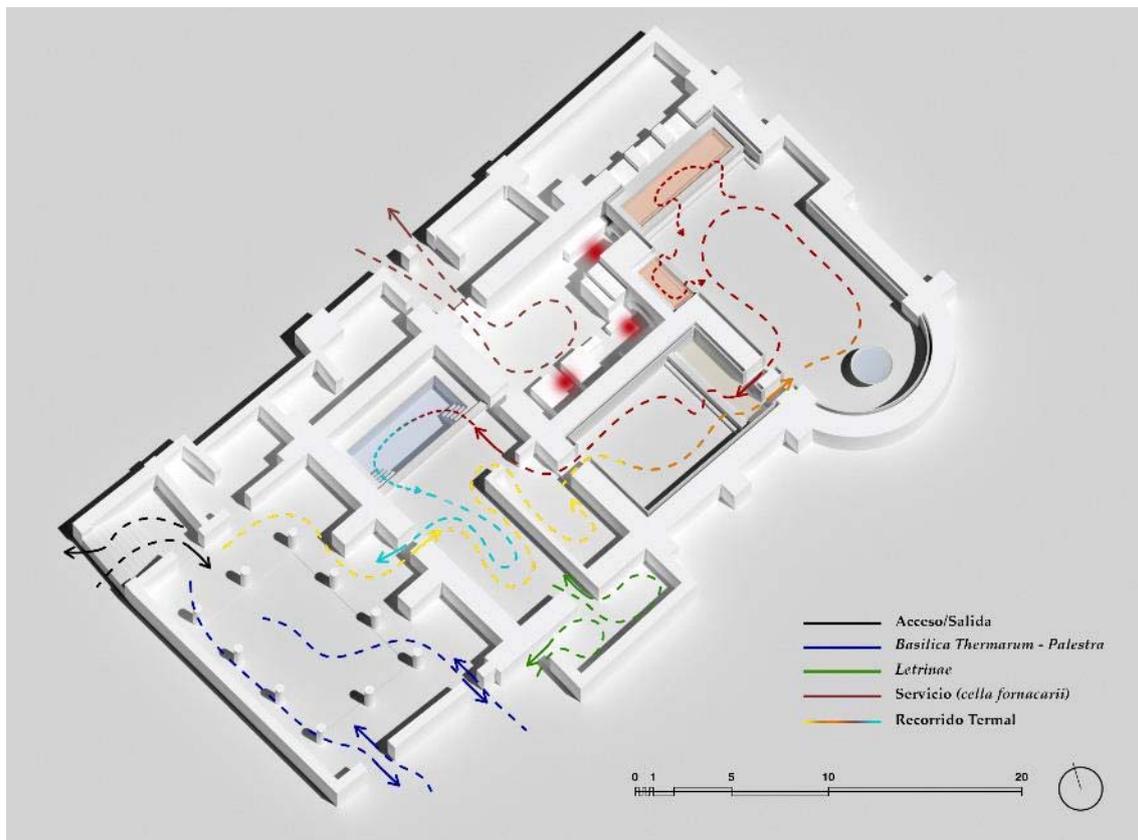
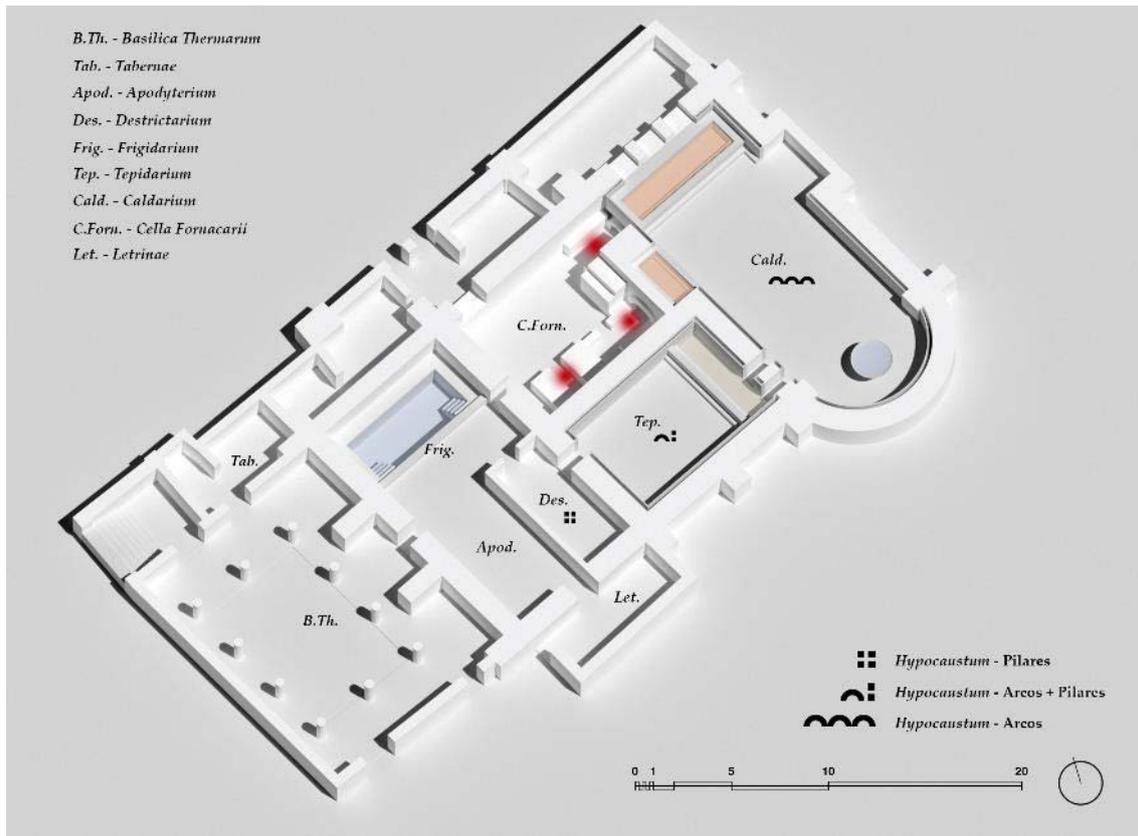
### 2.3.1. Termas mayores

Las termas mayores son una construcción que cierra el conjunto termal por el oeste-norte y ocupa una superficie aproximada de 2.100 m<sup>2</sup>, de los cuales 1.200 m<sup>2</sup> pertenecen al edificio termal propiamente dicho y los 900 m<sup>2</sup> 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 *accessus* o *ingresus*, cuenta con una escalinata de siete escalones que permite salvar el desnivel del edificio con respecto a la calle. 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*.

Constructivamente los paramentos que definen la sala 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.



Ilustraciones 104 y 105. Esquema de las distintas salas del complejo de las termas mayores con la hipótesis de recorrido entre ellas.

La escalinata cuenta con escalones de piedra caliza local asentados sobre tierra compactada montando uno sobre otro unos 8 cm, por lo que dejan una huella media de unos 33 o 34 cm. El primer peldaño, sobre el que apoya el pavimento de ladrillos, mantiene una altura de 13 cm.



Ilustración 106. Escalinata de acceso a las termas mayores y *basilica thermarum* tras la intervención realizada en 2011.

A través de la puerta interior (*ostium*) se accedía a la *basilica thermarum*. Se trata de una estancia de planta basilical de 14,98 m de largo por 11,40 m de ancho. En el centro de la sala y enmarcado por losas de piedra caliza local se define un peristilo con 3 columnas en los lados cortos y 4 en los lados largos, que delimita una perístasis interior (8,64 m de longitud por 5,90 m de anchura). El pavimento es *opus signinum* y está a una cota ligeramente inferior que el pavimento del peristilo. Los espacios que quedan entre las columnas y el muro exterior configuran unos corredores laterales (*porticus, ambulatio*), que tienen una anchura que oscila entre los 3 y los 3,15 m, con un pavimento de ladrillos romboidales, formando una especie de *opus spicatum*, y pinturas al fresco, conservadas en los zócalos y que definen motivos geométricos que imitan piedras naturales *crustae marmorae* (Monraval 1992, 47-51)<sup>167</sup>.



Ilustración 107. Zócalo pintado imitando el *crustae marmorae*.

El pasillo que discurre de forma paralela al muro de cierre de esta sala tiene menor anchura (1,60 m), y aunque mantiene el mismo programa decorativo, pavimento de losetas romboidales y zócalos con imitaciones de *crustae marmorae*, está realizado con una técnica mixta, siendo la base del zócalo de *opus vittatum* y el resto del muro construido con la técnica del tapial.

---

<sup>167</sup> M. MONRAVAL (1992). "La pintura mural romana en el País Valenciano. Estado de la Investigación y nuevos hallazgos. Metodología de excavación recuperación", en J. L. Jiménez: *I Coloquio de Mural Romana en Hispania*, pp. 43-60. Valencia.

La *basilica thermarum* va acompañada de instalaciones secundarias como la tienda, *tabernae*, *popina* (1,50-2,00 × 4,10-4,20 m), con su correspondiente trastienda (3,90 × 3,20 m) donde se almacenaban las mercancías y se realizaba la contabilidad. A estas salas se accedía a través de un umbral de piedra gris de Alcublas con un rebaje lateral para poder insertar una puerta de tablas. El pavimento en estas dependencias, como es habitual en estas salas, es de *opus signinum*. Estas dependencias secundarias están anexas al propio edificio termal por lo que sus traseras son los muros de las termas, construidos en *opus quadratum*. En estos muros se conservan, aún, numerosos restos de las perforaciones realizadas para fijar las estanterías de madera.



Ilustración 108. *Accesus* y *tabernae* de la *basilica thermarum* de las termas mayores.



Ilustración 109. Reconstrucción del interior de la *basilica thermarum* a partir del modelo arquitectónico de Julián Esteban y Elisa Moliner. Autor: Global Mediterranea, S. L.

Desde la *basilica thermarum* se puede acceder al *apodyterium* e iniciar el recorrido por las diversas estancias de baño o acceder a la *palestra* y a la *natatio*.

El *apodyterium* es la **primera sala termal** y comunica con el *frigidarium*, con el *tepidarium*, *districtarium* y con la *cella fornacarii*. Tiene unas dimensiones de 14,58 m de largo por 7,74 m de ancho<sup>168</sup>. En su interior contiene diversas estancias relacionadas con distintas fases del baño, como es habitual en algunas termas de esquema pompeyano (Bargellini 1991, 122; Mar 1990, 156).

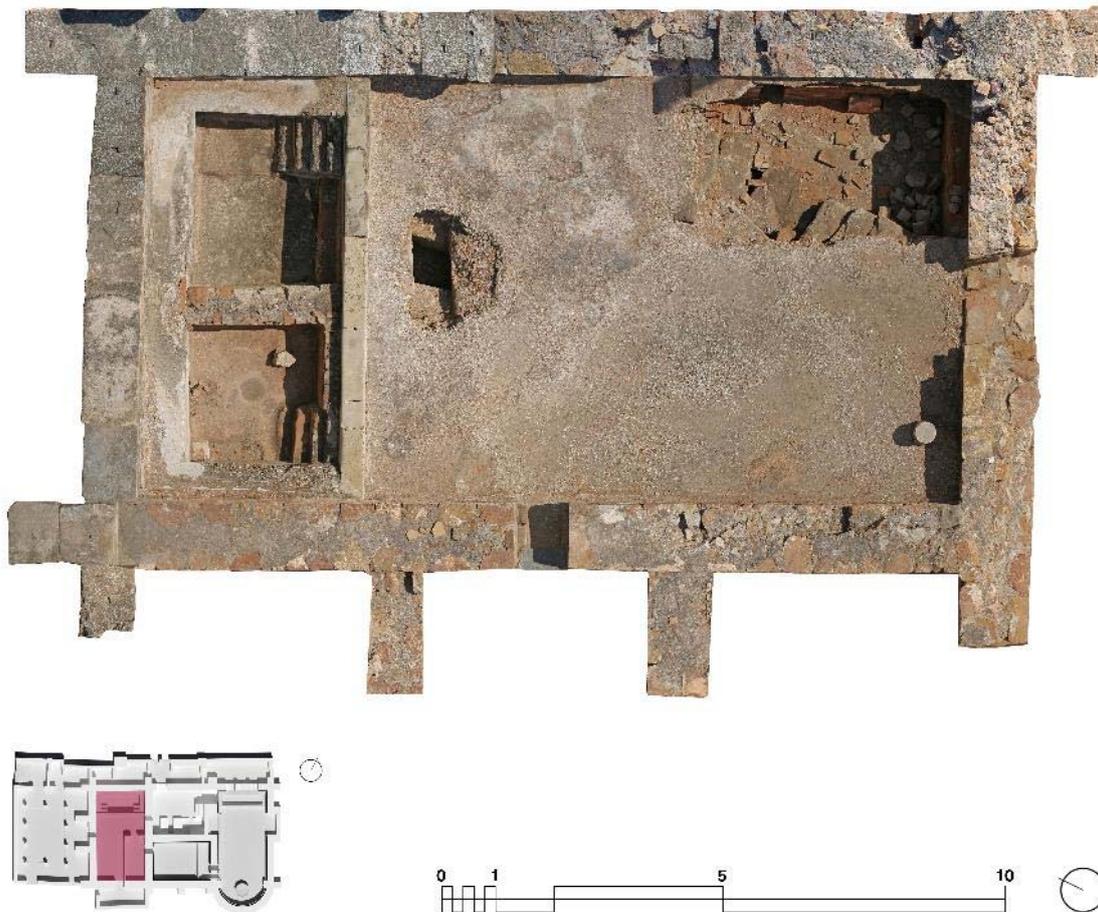


Ilustración 110. Primera sala termal. *Apodytherium*, *frigidarium*, *unctorium* después de los trabajos de excavación arqueológica.

Junto al *apodyterium* se halla la *cella frigidaria*, sala en la que se encuentra una piscina de agua fría, separada del resto de la sala por una barandilla o *pluteus*. Esta piscina se utiliza normalmente después del recorrido por los diversos espacios calefactados de las termas.

<sup>168</sup> 46 × 26 pies, si consideramos una medida de 29,6 cm.

Una puerta de servicio (*posticum*) comunicaba con la *cella fornacarii*, el lugar donde se situaba el fuego para calefactar el aire que circula por el *hypocaustum*.

Junto al *apodyterium*, entre este y la primera sala caliente, se localiza una estancia calefactada, separada del primero por un tabique de ladrillos y que se ha denominado de muchos maneras debido a los posibles usos que tenía *frigidarium*, *destrictarium*, *unctorium*, *elaeothesium* (*cella tepidaria*, *unctuaria*)<sup>169</sup>. El *hypocaustum* de esta habitación no dispone de un horno propio y solo puede calefactarse por la circulación que le llega del *tepidarium*, tal y como veremos en las distintas simulaciones realizadas para comprobar el funcionamiento.

Constructivamente, se trata de una gran sala rectangular con una superficie total de aproximadamente 112,85 m<sup>2</sup>. El pavimento es de *opus signinum* en todas las estancias, con las características molduras de cuarto de bocel, en las intersecciones con los muros. Los paramentos son de *opus quadratum* en dos técnicas diferentes, las 3 o 4 hiladas primeras (al igual que la cimentación) es un *emplecton*, con sillarejo de formato grande (40 × 30 × 25 cm de media) de caliza local hasta alcanzar la altura de 1,12 m, a partir del cual se disponen los sillares de *opus quadratum* ciclópeo (1,20 × 0,76-0,99 × 0,40 de media) dispuestos a soga y tizón. Hay que destacar que el muro de cierre oeste cuenta con cuatro contrafuertes exteriores, dos en los extremos (1,20 × 1,00 m en el extremo norte) y (1,30 × 1,20 m en el sur) y por dos centrales que enmarcan la puerta de entrada al *apodyterium*, de 2,24 y 2,48 × 1,04-1,06 m. El revestimiento que se conserva es de un mortero de cal de diversas capas.

De los análisis microscópicos realizados por el Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV, se ha podido concluir que en los restos de los revestimientos se encuentran restos de pinturas murales realizadas según la técnica del *buon fresco* con la particularidad de incorporación de yeso y cloro en el interior del sustrato pictórico, así como la utilización de ladrillo molido. También se ha detectado la presencia de fósforo en la capa pictórica, posiblemente proveniente de la utilización de caseína o leche, añadida a la capa pictórica para conseguir mayor dureza, mayor durabilidad y mayor resistencia al agua (Lalli *et al.* 2010, 42).

La hipótesis de cubierta de esta sala se resuelve mediante una bóveda de cañón de arcos independientes, hecho confirmado por los elementos arquitectónicos recuperados en la fase de intervención arqueológica, que han permitido observar que la mayoría de los sillares que formaban parte del derrumbe en el interior de la sala se correspondían con

---

<sup>169</sup> Para tener una nomenclatura clara denominaremos a este espacio el *frigidarium* (sobre todo en el capítulo de la simulación funcional), ya que siguiendo los esquemas clásicos de una *therma* es la primera sala en la entrada y previa al *tepidarium*.

dovelas de la cubierta, concretamente claves y contraclaves por la posición de las ranuras para insertar las castañuelas para su posterior transporte y colocación (Adams 1996, 45), hecho que permite apuntar que la bóveda la conformaban 8 arcos y probablemente otro más en el exterior, en la fachada norte con 64 dovelas cada uno de 1,80 m de soga y 0,70 m de tizón y un espesor de 0,50 m.



Ilustración 111. Primera sala termal con el relleno de sillares de la cubierta que la amortiza.

El uso como *apodytherium* de esta sala viene ratificado constructivamente por la presencia de al menos dos hornacinas para depositar la ropa que se documentaron entre los restos aparecidos en la sala. Se tratan de sillares con el característico rebaje, en este caso, semiesférico revestido con un *opus signinum* de grano muy fino y que estarían dispuestos de forma ordenada en las paredes de la sala (Pasquinucci 1993, 30).



Ilustración 112. Primera sala termal. Detalle del sillar en el que han tallado el hueco que define una hornacina.

El *frigidarium*, o sala fría con piscina, está situado en el extremo norte de la sala. La presencia de un sillar moldurado situado a 1,20 m respecto del pavimento de la sala parece indicar el inicio de un arco que marcaría una separación de esta estancia con respecto al *apodytherium*.

Si un elemento identifica esta estancia es la piscina, en este caso rectangular (6,05 m de longitud por 2,78 m de anchura y una profundidad de 1,50 m hasta línea de *pluteus*). La piscina aparece rodeada por un pequeño corredor, utilizado como asiento, con dos escaleras laterales de acceso. Como se ha indicado anteriormente esta se encuentra separada del resto de la sala por un pequeño *pluteus* o barandilla formada por cinco sillares de piedra caliza local que sobresale unos 20 cm. La piscina va revestida con mortero hidráulico realizado en *opus signinum* de grano muy fino, presenta además las características molduras de media caña de cuarto de bocel en la unión con las paredes de la sala.

Las escaleras de bajada, situadas en los extremos de la piscina, están constituidas por 4 peldaños de 30 cm de huella, situados inmediatamente a continuación del *pluteus*. Al igual que la piscina presentan un revestimiento de *opus signinum*. Uniendo las dos

escaleras y bajo el *pluteus* se conserva una especie de banco formado por *tegulae* y *tubuli*, en el que se puede observar el sistema de anclaje con clavos de hierro.



Ilustración 113. Primera sala termal. Piscina del *frigidarium*.

Cabe suponer que, sobre la piscina, habría una ventana semicircular con una luz de 4 m como nos indica la pieza que se conserva y que determina la modulación de la misma (Broise 1991, 72)<sup>170</sup>.

Sin embargo, la estancia más compleja de esta sala por su polivalencia es el *tepidarium*, *unctorium* o *dstrictarium*, de 4,22 × 2,80 m. Este compartimento está realizado mediante un tabique de ladrillos del cual todavía se conservan las huellas del cierre realizado con ladrillos *bipedalis* y *pedalis*, que lo definían como una habitación cerrada y totalmente independiente del *apodyterium*, aunque dentro de la misma gran sala con bóveda de cañón y con el mismo pavimento de *opus signinum*. No obstante, esta sala pasa a ser la primera sala calefactada de estas termas mayores y con acceso desde el *apodyterium* y de paso obligado para llegar al *tepidarium* o también denominado *assa sudatio*. El *hypocaustum* es de *pilae*, con un muro perimetral por los lados sur y este de ladrillos. La

---

<sup>170</sup> H. BROISE (1991). "Vitrages et volets des fenestres themales a l'époque impériale", C.E.F.R., 142 (Les thermes romains), pp. 61-78.

*suspensura* es de *bipedalis*. La entrada de aire caliente se haría a través de dos huecos en la pared de 0,46 m de ancho por 0,74 de alto y 0,33 de ancho por 0,66 de alto que comunican con el *hypocaustum* del *tepidarium*.

La fachada sur presenta por el exterior una construcción adosada de la que se conserva el basamento de sillares de piedra caliza local, el *rudus* de preparación del pavimento de la sala y una conexión con el *apodytherium* a través de un vano no claramente identificado como puerta de conexión a la sala, ello podría ser debido a que las jambas y el umbral fueran objeto del expolio efectuado en la antigüedad tardía. No obstante, tras una revisión de la documentación planimétrica y fotográfica obtenida en la intervención efectuada en el año 2011 se podría plantear que este cuerpo podría albergar las letrinas, ya que a su óptima ubicación fuera del recinto termal pero anexo a él, se une su conexión directa a la cloaca que evacua las aguas negras del conjunto termal. Este ha sido uno de los puntos que más incógnitas ha presentado entre todos los arqueólogos y arquitectos que han participado en la intervención reciente, ya que en principio se había situado en la zona de la *cella fornacarii* en un extremo, ya que no había aparecido ningún testimonio que hubiera aclarado su situación.



Ilustración 114. Reconstrucción del interior de la *apodytherium, frigidarium* sin el muro que separa las estancias interiores, a partir del modelo arquitectónico de Julián Esteban y Elisa Moliner. Autor: Global Mediterranea, S. L.



Ilustración 115. Fotoplano correspondiente al alzado NE de la sala del *apodytherium*, *frigidarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 116. Fotoplano correspondiente al alzado NO de la sala del *apodytherium*, *frigidarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 117. Fotoplano correspondiente al alzado SE de la sala del *apodytherium*, frigidarium desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 118. Fotoplano correspondiente al alzado SO de la sala del *apodytherium*, frigidarium desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

En la **segunda sala termal** a la que se accede desde el *destrictarium* a través de un vano con umbral de piedra caliza local de 1,14 m de luz se encuentra, probablemente, un *assa sudatio* o sauna seca denominada normalmente *tepidarium*. Comunica el *apodytherium* y el *caldarium* y tiene unas dimensiones rectangulares de 6,28-6,32 m de ancho por 9,36 m de largo. En su configuración interna se han podido definir dos momentos constructivos en un marco cronológico muy corto: un primero correspondiente a la construcción inicial en el que el pavimento de losetas romboidales ocupa la totalidad de la estancia, y un segundo, realizado poco tiempo después, en el que se construye un *alveus* en su extremo este, ocupando todo el ancho de la sala, lo que obliga a tener que franquearlo para poder acceder al *caldarium* II.

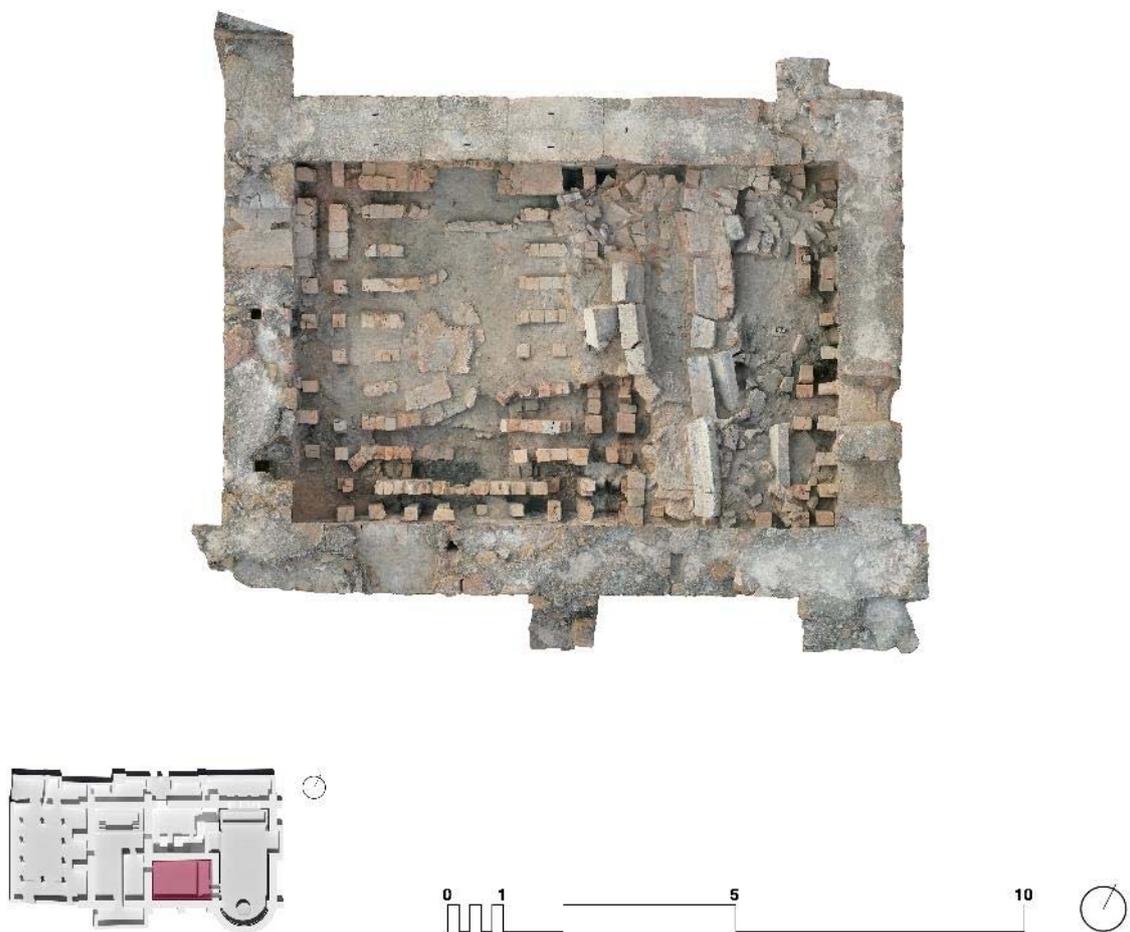


Ilustración 119. Segunda sala termal. Ortofoto una vez finalizada la excavación. Autor: Global Mediterranea, S. L.

Esta estancia presenta un sistema de calefacción muy complejo, ya que además de contar con un *praefurnium* propio, en el muro medianero con el *caldarium*, hay una serie de pasos para facilitar el tránsito del aire entre las salas. En la construcción de su *hypocaustum* se alternan las series de arcos de ladrillo con las *pilae, suspensura*, y en las paredes, las cámaras huecas de ladrillo o *concameratio*.



Ilustración 120. Espacio del horno que calefacta la sala del *tepidarium*. Fotografía tomada después de los trabajos de restauración.

Constructivamente esta sala con una superficie en torno a los 58,40 0m<sup>2</sup> presenta unas características similares a la anterior. Así, el muro norte, de 1,20 m de ancho, separa la estancia del *praefurnium* que conserva hasta 1,20 m sobre cota de pavimento, un muro de sillarejo de caliza local formado por hiladas de grandes sillares de toba (entre 1,52 y 1,64 m de largo por 0,59 de ancho) colocados a soga, sobre la que se dispone otra hilada a tizón. Estos grandes sillares mantienen las características perforaciones para su transporte y colocación.

El muro este tiene un espesor de 1,10 m y solo conserva el tramo con la construcción de sillarejo de caliza local. En él se abren dos pequeños vanos de dimensiones entre 0,80 y 0,84 m con un entrepaño de 0,64 cm para permitir la entrada al *caldarium*. En su arranque se disponen diversos orificios que comunican a nivel de *hypocaustum* ambas estancias calefactadas.

El muro sur de 1,20 m se corresponde con la fachada que da a la palestra. En él se disponen tres contrafuertes, dos coincidentes con la prolongación de los muros oeste y este y uno en el centro. Las dimensiones de estos muros oscilan entre 1,00 y 1,20 m de largo por 1,20 m de ancho. La separación entre ellos es de aproximadamente 4,00 m en el tramo oeste y de 3,42 m en el este. Este paramento mantiene toda la base y su cimentación a base de bloques regulares de caliza local.

El muro oeste es el que presenta menos altura conservada, de apenas 50 cm sobre cota de pavimento. No obstante, es uno de los paramentos que aporta datos interesantes al permitirnos ver el núcleo de su sistema constructivo. En este caso se puede observar cómo los sillarejos escuadrados están trabados por una masa de *opus caementicium*. Sin embargo, lo más destacado de este muro es la presencia de dos chimeneas de 22 × 22 cm que comunicarían el *hypocaustum* con las cubiertas para permitir la circulación de aire caliente.



Ilustración 121. Segunda sala termal. Detalle de los conductos de circulación de aire caliente insertados en el muro.

Al ser ya una sala calefactada, para calentar las paredes se utiliza el sistema de *concameratio*, un esquema muy clásico de cámara que arranca del *hypocaustum* y está realizado mediante la utilización de piezas cerámicas, *tegulae*, sujetas al muro de carga por medio de clavos de hierro que corren por el interior de unas bobinas o *tubuli* circulares que mantienen la estabilidad del tabique y protegen de la humedad el metal

(Finker 1986, 153-184)<sup>171</sup> (Rook 1992, 13). Las *tegulae* presentan en su exterior incisiones profundas para facilitar la adhesión del enlucido. Esta *concameratio* tiene 17 cm de anchura y acaba conformando un auténtico tabique de *parietalis lateres*, que posteriormente se enluciría y decoraría con frescos o aplacados de mármol de los cuales no se han encontrado restos.

La bóveda de la sala es de cañón, por las dovelas que se han hallado en las tareas de desescombro de la sala. El pavimento está realizado a base de losetas romboidales dispuestas en forma de espiga, sobre una preparación de *opus signinum* que a su vez descansa en *bipedalis* cerámicos que configuran el pavimento suspendido que cubre al *hypocaustum* de la sala (suspensura).

El *hypocaustum* difiere sustancialmente respecto del *destryctarium* y sigue el modelo dominante en la práctica totalidad de las estancias calefactadas de los dos conjuntos termales de Edeta, aunque en este caso los arcos de ladrillo se alternan con *pilae* dispuestos perimetralmente para acotar y facilitar la disposición de la *concameratio* de la sala.



Ilustración 122. Segunda sala termal, *tepidarium*. Vista general del *hypocaustum* durante la excavación arqueológica.

---

<sup>171</sup> M. FINCKER (1986): "Les briques claveaux. Un material de construction spécifique des thermes romains", *Revue Aquitania*, 4, pp. 143-150.

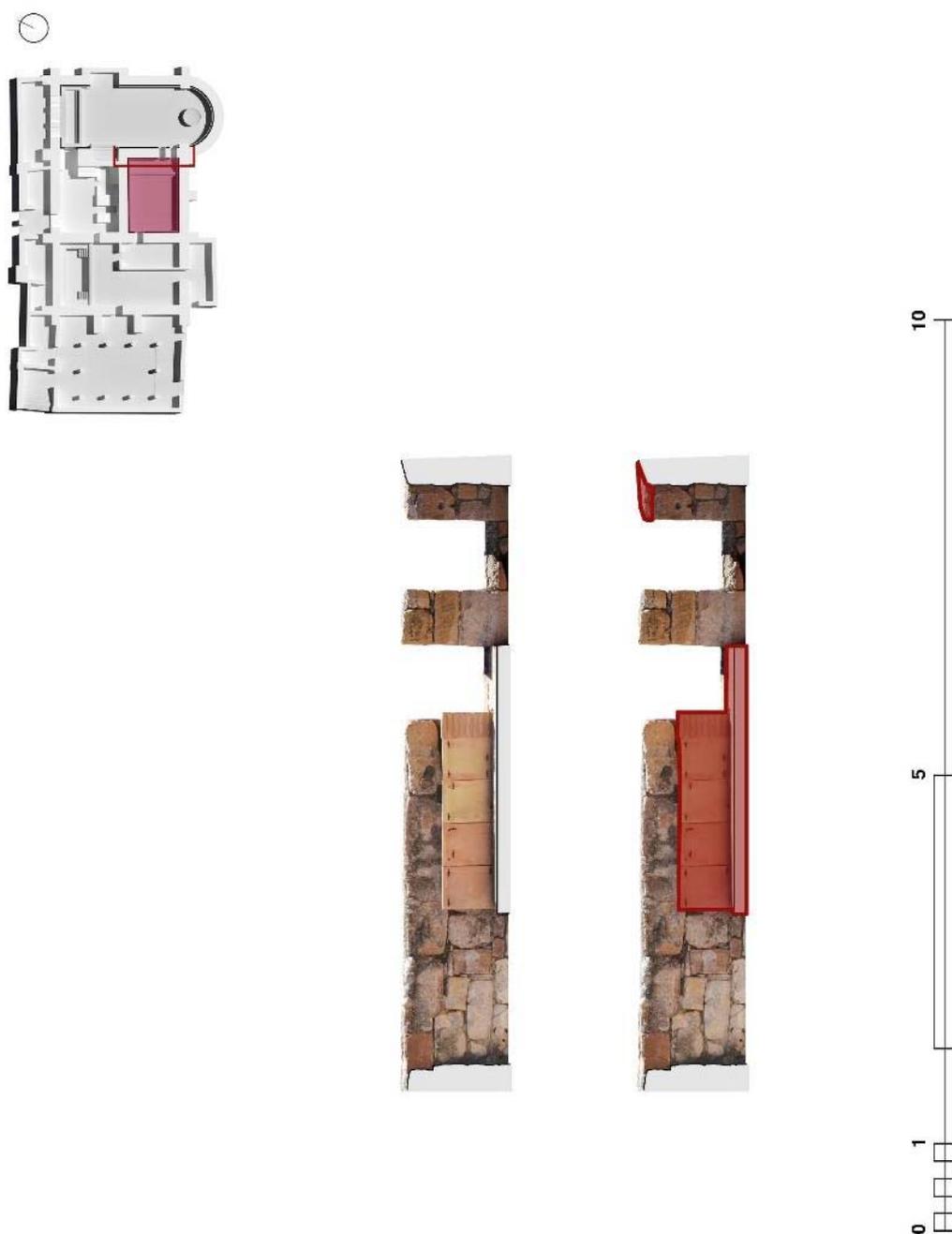


Ilustración 123. Fotoplano correspondiente al alzado NE de la sala del *tepidarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 124. Fotoplano correspondiente al alzado NO de la sala del *tepidarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 125. Fotoplano correspondiente al alzado SE de la sala del *tepidarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 126. Fotoplano correspondiente al alzado SO de la sala del *tepidarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

La tercera y última sala de unos 150 m<sup>2</sup> corresponde a la *cella caldaria* o *cella aquarum coctilium*, denominado normalmente *caldarium*. Presenta una planta de tipología muy pompeyana de dimensiones 18,84-18,90 m de largo por 7,94-7,96 m de ancho. Su lado sur está rematado por un muro curvo a modo de ábside. Se accede desde el *tepidarium* a través de dos pequeñas puertas de 80 cm de luz, una de entrada y otra de salida. La sala se puede subdividir en tres zonas: una estancia circular, el *laconicum*, en uno de los extremos, con un *labrum* o fuente circular alrededor del que quedaría un pasillo de 1,50 m de ancho para el paso de los usuarios. Un espacio vacío en mitad de la estancia, la *sudatio*, *sudatorium*, se convierte en el lugar para el baño de vapor, y en el otro extremo se dispone un *alveus* para tomar el baño caliente y dos *aediculae* laterales en las que en una de ellas se dispone un pequeño *alveus*, posiblemente para menores.

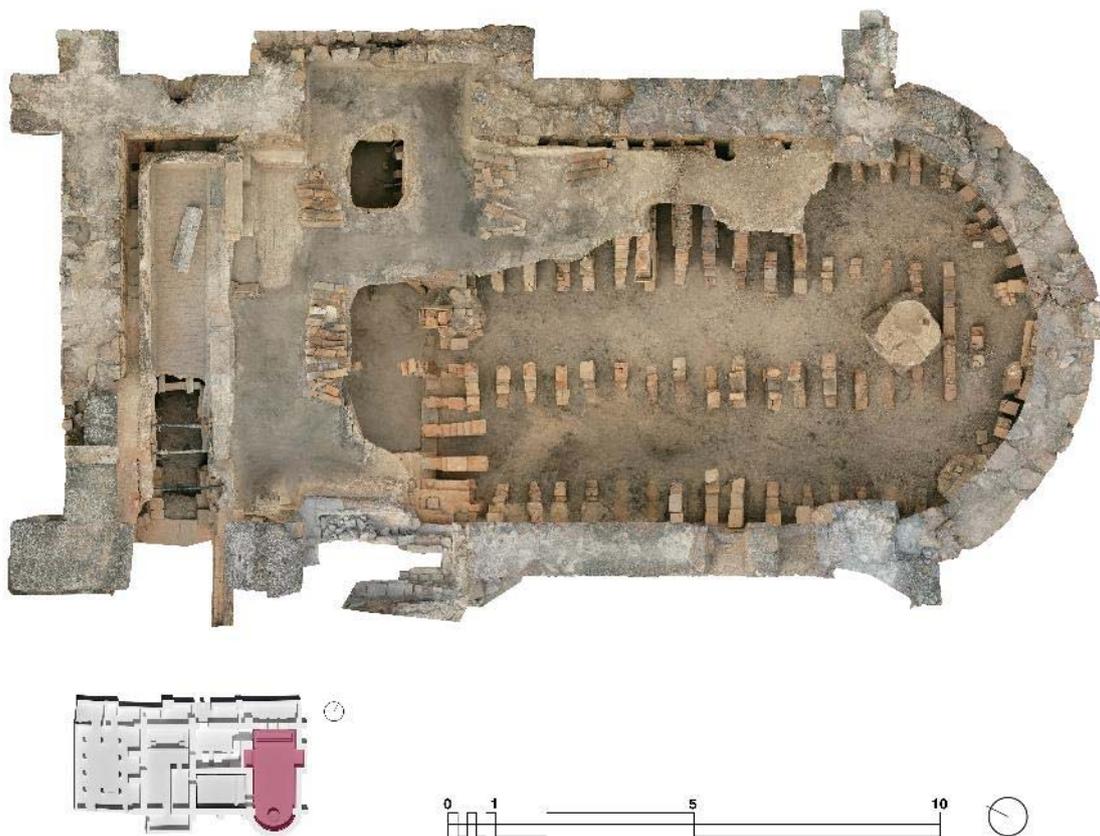


Ilustración 127. Tercera sala termal, *caldarium*. Ortofoto una vez finalizada la excavación arqueológica.

La presencia de numerosos elementos arquitectónicos en el relleno que amortizaba la estancia permite realizar una propuesta bastante ajustada sobre el tipo de cubierta que

debía presentar esa habitación. La bóveda estaba formada por ocho arcos independientes de grandes sillares de piedra toba ( $1,81 \times 0,90$  m) con una escotadura de 5 cm de profundidad en la cara interna que define una cámara interior cerrada por grandes ladrillos alargados (aproximadamente 81,5 cm de soga por 15,2 cm de tizón por 4 cm de grosor), los cuales, ensamblados con los sillares de la bóveda, marcaban las chimeneas que dirigían el humo hacia el exterior. Estos arcos descansaban sobre los estribos o muros largos de la sala, de espesor suficiente y con contrafuertes exteriores para contrarrestar sus empujes. La cubierta del ábside se resolvía con una media vuelta realizada a partir de sillares prismáticos. Se han conservado también algunos sillares de toba con remate en moldura que acaban conformando la imposta tanto interior como exterior de la sala. En el *laconicum* se conserva un potente basamento circular de sillares de piedra toba local con un diámetro de 1,30 m que serviría de asiento al *labrum*, de piedra dolomítica azul de Alcublas, que tendría una generatriz de 2,50 m de diámetro.



Ilustración 128. Tercera sala termal, *caldarium*. *Alveus* frontal del *caldarium*.

El *alveus* frontal es una piscina rectangular de  $7,20 \times 1,44 \times 1,00$  m de profundidad. Este *alveus* de agua caliente consta de un basamento de sillería de piedra caliza azul sobre el que asienta una gran barandilla o *pluteus* realizada con piedra caliza local. Este basamento que sirve de escalón en la parte de la sala sirve de asiento por el interior del *alveus*.

El pavimento es de ladrillos romboidales y toda esta estructura está revestida con las preceptivas molduras en juntas de *opus signinum*. Las dimensiones de la sala permiten suponer la presencia de un gran ventanal situado detrás del *alveus*, como parece indicar la gran concentración de vidrio plano localizado en esta zona según los informes de las excavaciones consultados. Las placas de vidrio deberían estar insertadas en una estructura rígida, metálica o de madera, como también parecen indicar las perforaciones a intervalos regulares de 1,60 m practicadas en el muro de cerramiento, entre las cuales, y sobre el muro, se conserva un pavimento de *opus signinum* (Broise 1991, 72).



Ilustración 129 Reconstrucción del interior del *caldarium* a partir del modelo arquitectónico de Julián Esteban y Elisa Moliner. Autor: Global Mediterranea, S. L.

El *alveus* de la *aediculae* lateral tiene unas dimensiones de  $2,80 \times 1,30 \times 0,60$  m de profundidad. Tanto los escalones como la barandilla de acceso están ejecutados con piezas de ladrillo reutilizados revestidos con *opus caementicium*. El interior del *alveus* iría revestido con mármol como parece indicar el repicado en el revestimiento del *opus caementicium* para aumentar el agarre de las placas marmóreas.



Ilustración 130. Tercera sala termal, *caldarium*. *Alveus* lateral del *caldarium*.

La calefacción de la *cella caldaria* se realizaba a través de su *hypocaustum*, una cámara construida en el subsuelo, básicamente con arcos formados por *cunneati*, que empleaba únicamente las *pilae* para reforzar la zona sobre la que apoyaba el *pluteus* del *alveus* grande. En esta cámara subterránea, la temperatura se elevaba con la ayuda de dos hornos, uno de ellos en el que se colocaba el testudo, de un modo bastante semejante al realizado en las termas Stabianas de Pompeya. Las paredes de la sala se completaban con una elaborada *concameratio* para hacer circular el aire caliente desde el *hypocaustum*.

La base o firme (*area*) está constituida por el propio terreno natural, lejos del precepto vitruviano que aconsejaba el uso de *sesquipedalis* en su construcción, tal y como ha quedado expuesto en el primer capítulo. Sobre ella, apoyan una serie de arcos distantes 60 cm entre ejes, sobre los que descansarían las *suspensurae*. Estos arcos presentan alineaciones diferenciadas según sea la parte de la sala que ocupen. En la mitad norte de la sala, correspondiendo con la zona en la que se encuentran los *alveus*, junto al *praefurnium*, la disposición es norte-sur, siguiendo la orientación de los huecos practicados en el muro; en la otra mitad, en cambio, la orientación es este-oeste, mientras que al llegar a la *schola labri* las *suspensurae* se asientan sobre *pilae*. Todas estas disposiciones tienen una explicación que será justificada en el capítulo de la funcionalidad termal.

Cada arco está formado por tres vanos con una luz aproximada de 1,55 m y una altura de 72,5 cm, lo cual implica la necesidad de disponer de unos 72/76 *cunneati* por cada arco.

En total se supone la existencia de 24 arcos más algún arco suelto en el ábside. Si cada pórtico tiene tres arcos, se deduce que el número de *cunneati* empleados en el *hypocaustum* del *caldarium* de las termas mayores alcanza, aproximadamente, las 5.625 unidades.

Existen piezas bastante específicas y singulares como las dispuestas en los riñones de los arcos de  $59 \times 22 \times 9,5$  cm, encargadas de mantener una traba entre los pórticos de los mismos. Otro ladrillo específico es el utilizado en los huecos de comunicación del *hypocaustum* del *tepidarium* y del *caldarium*, debajo de los vanos de las puertas, con unas dimensiones de  $44 \times 10 \times 7,5-8$  cm.

Todo el *hypocaustum* está cubierto con ladrillos *bipedalis*<sup>172</sup>, de  $59-60 \times 59 \times 9,5$  cm, lo que supone, aproximadamente, unas 420 unidades. Sobre esta pieza se coloca una capa de *opus signinum* que oscila entre los 15 cm en la parte de mayor espesor, la más próxima a los hornos, y los 7 cm en la parte del *laconicum*, y sirve de preparación y agarre al pavimento de la sala, realizado mediante la disposición de ladrillos romboidales ( $10,5 \times 6,5$  cm), que forman una especie de *opus spicatum*.



Ilustración 131. Tercera sala termal, *caldarium*. Estado de conservación del *hypocaustum* tras la excavación arqueológica.

---

<sup>172</sup> Aunque no es una medida uniforme, ya que se han medido piezas de hasta 6 cm de espesor.

En la parte posterior del alveus frontal se observan cambios en el sistema de la *concameratio*. La cámara, de 12 cm de ancho, está situada entre el muro de cierre del edificio y el tabique de ladrillos *bipedalis-bessalis* de  $59-60 \times 22 \times 9,5$  cm, sobre los que descansa el cerramiento del *alveus* frontal.

Los muros de la sala siguen el mismo sistema ya descrito en el *tepidarium*, mediante la confección de la *concameratio*, manteniendo las mismas piezas, clavos y morteros específicos. El espesor de la cámara es de 17 cm, de forma que permite comunicar el espacio desde el *hypocaustum* hasta la chimenea de evacuación a través de los conductos existentes en las dovelas de las bóvedas.

La cubierta del *caldarium* es una bóveda de cañón de arcos independientes, hecho confirmado por los elementos arquitectónicos recuperados en la fase de intervención arqueológica que han permitido observar que la mayoría de los sillares de piedra caliza local, que formaban parte del derrumbe en el interior de la sala, se correspondían con grandes dovelas en forma de U, concretamente claves y contraclaves por la posición de las ranuras para insertar las castañuelas. Este hecho permite apuntar que la bóveda la conformaban ocho arcos con dovelas con unas dimensiones de 1,80-1,90 m de soga y 0,49-0,43 m de tizón y un espesor entre los 0,43 y los 0,35 m. Estas dovelas se caracterizan por presentar en los laterales cortos de la U, a 5 cm del borde, unas escotaduras donde insertaban los ladrillos rectangulares, ligeramente cóncavos que con unas dimensiones de  $81,5 \times 15,2 \times 4$  cm conformaban el conducto de evacuación incorporado a la bóveda hasta la salida vertical a través de la cubierta.



Ilustración 132. Tercera sala termal, *caldarium*. Detalle del inicio de la excavación con las piezas que forman la bóveda del caldario. Se puede apreciar las piezas en forma de U.



Ilustración 133. Tercera sala termal, *caldarium*. Detalle de excavación con vista de los ladrillos que conforman la *concameratio* de la bóveda.



Ilustración 134. Tercera sala termal, *caldarium*. Detalle del rebaje existente en las piezas que forman las dovelas de la bóveda.



Ilustración 135. Pieza que forma los arcos de la bóveda.

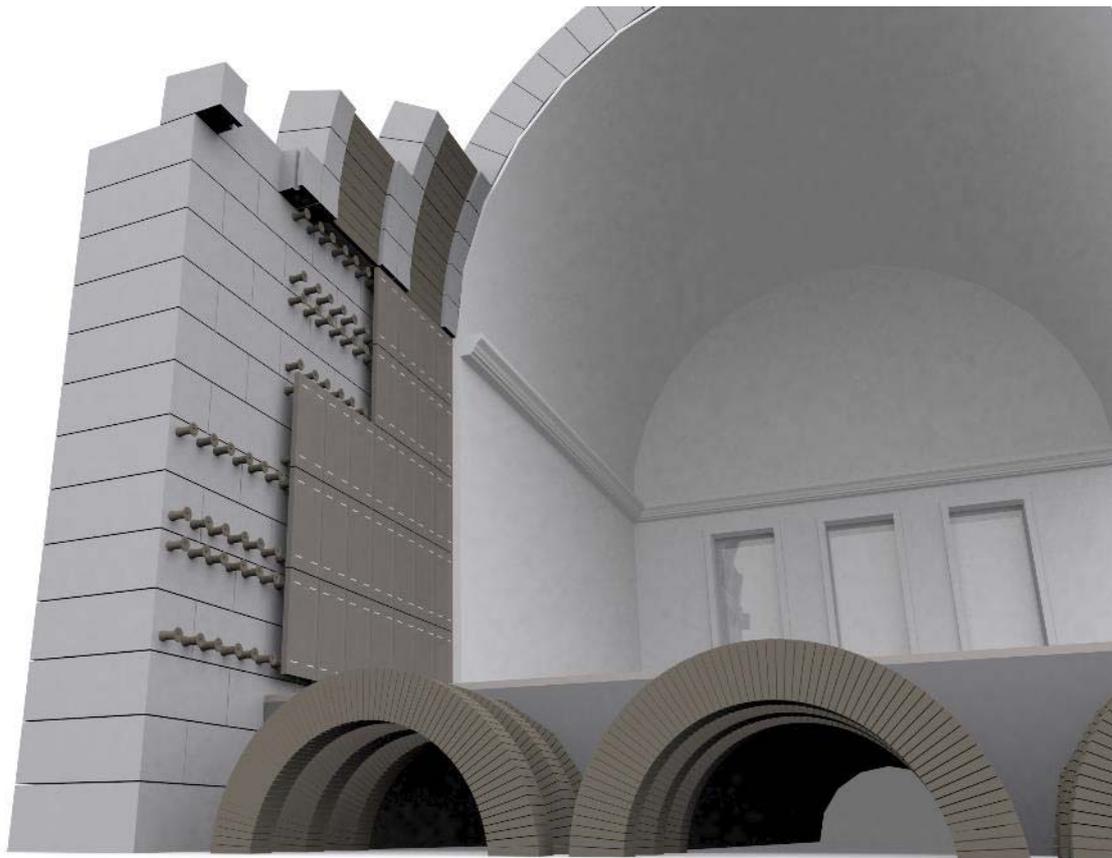


Ilustración 136. Idealización del sistema de comunicación del aire caliente a través de la *concameratio* y la transición que realiza al llegar a la bóveda.



Ilustración 137. Fotoplano correspondiente al alzado NE de la sala del *caldarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 138. Fotoplano correspondiente al alzado NO de la sala del *caldarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

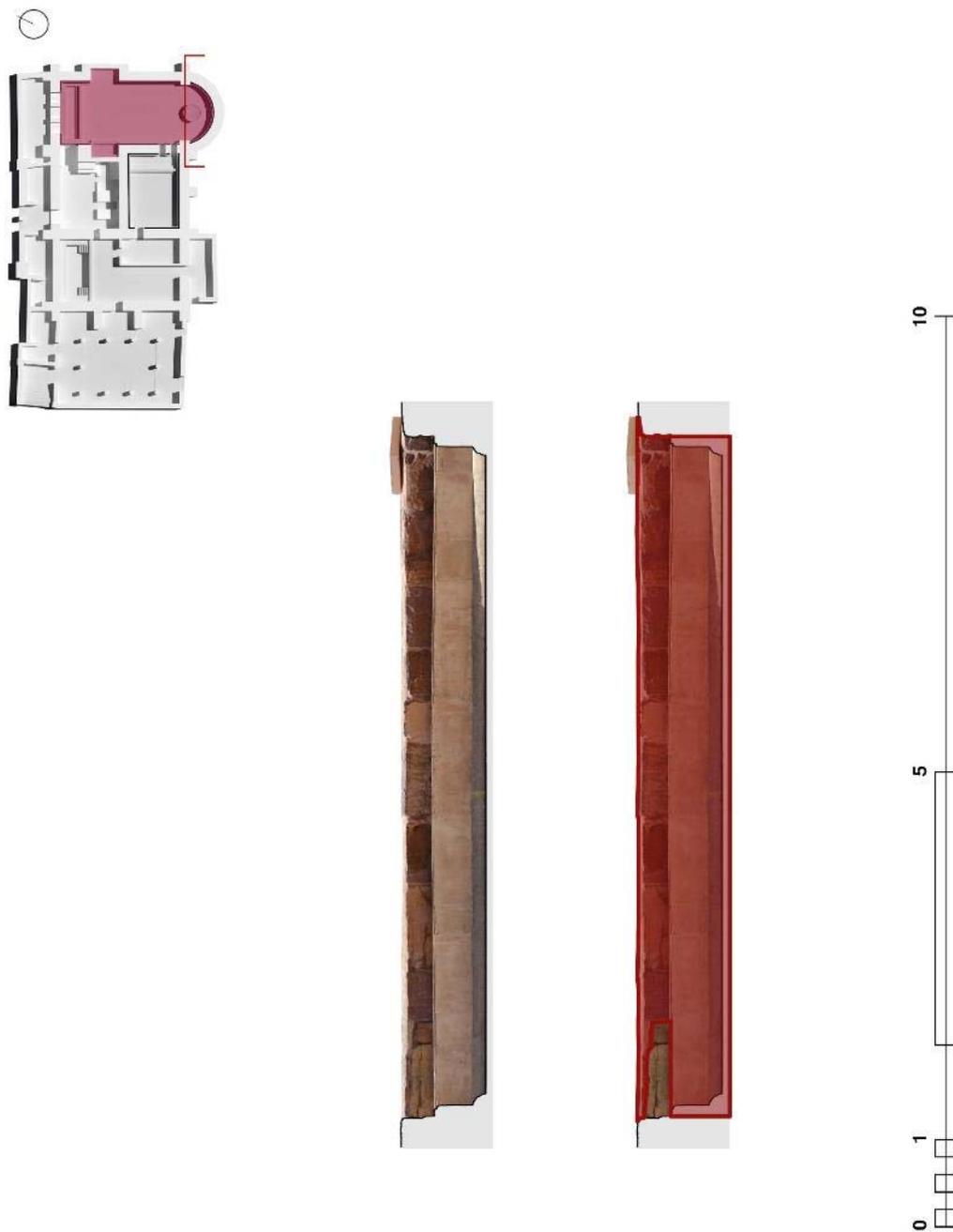


Ilustración 139. Fotoplano correspondiente al alzado SE de la sala del *caldarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 140. Fotoplano correspondiente al alzado SO de la sala del *caldarium* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

Convergiendo con las tres salas anteriores y con acceso desde la estancia del *frigidarium* y desde la zona de servicios, se localiza la *cella fornaculae balnearum*, denominada así por realizarse en ella el fuego necesario para calefactar el aire y el agua que circula por la instalación. En esta sala se sitúan los tres *prae furnia*, dos en el muro este y uno en el sur. La singularidad de su disposición, tamaño y forma será tratada en el último capítulo debido a la funcionalidad tan específica de cada uno de ellos.

A esta estancia a través del acueducto llegaba el agua canalizada, se almacenaba en un gran depósito para después distribuirse a las estancias según las necesidades. Este espacio de trabajo contaba también con sus correspondientes canales de evacuación de residuos, comunicados con la cloaca.

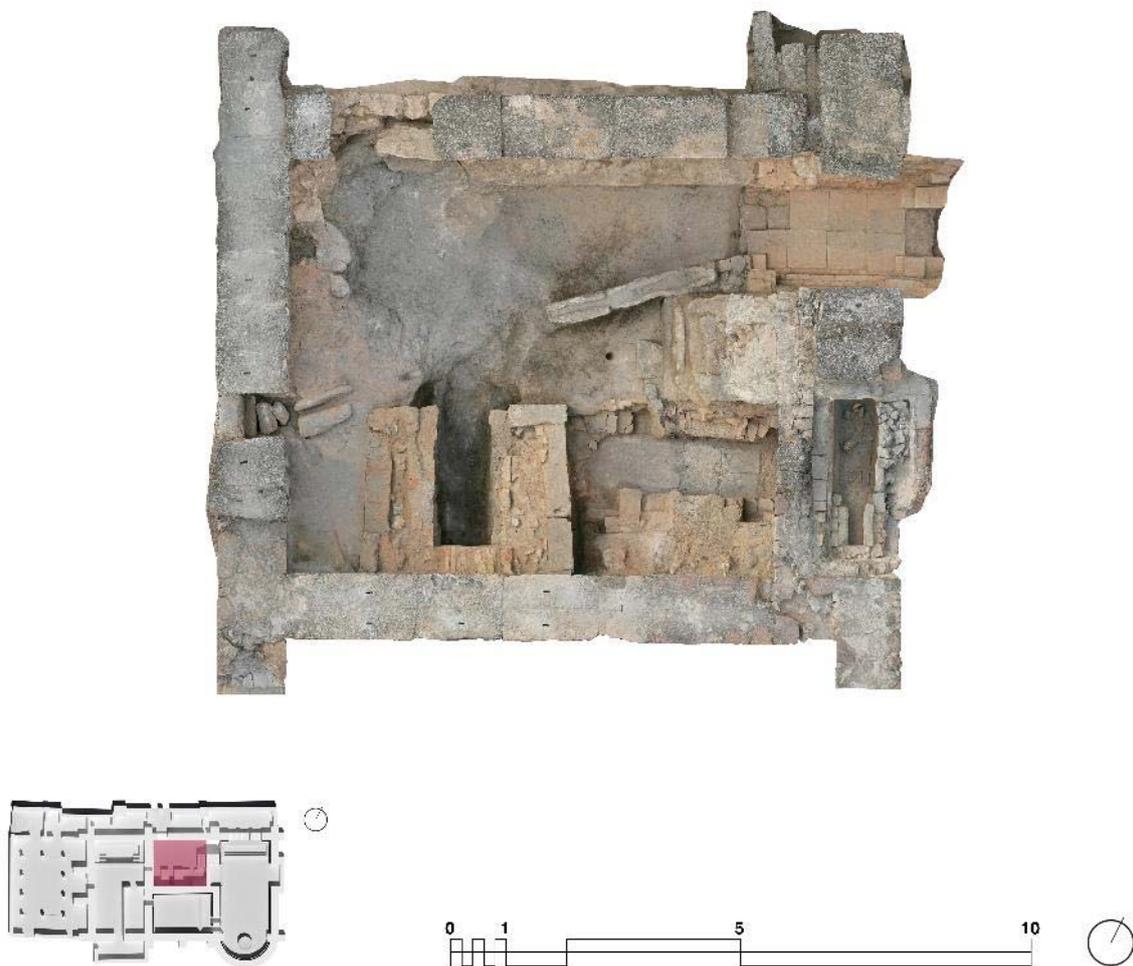


Ilustración 141. *Cella fornacarii*. Ortofoto del estado de conservación tras la excavación arqueológica. Autor: Global Mediterranea, S. L.

El horno mayor se comunicaba con el *hypocaustum* del *caldarium* por debajo del *alveus* mediante una sucesión de arcos de ladrillo consecutivos formando una bóveda inclinada, más estrecha en la apertura y más amplia conforme se acercaba al interior de la sala. El otro horno situado en el muro sur tenía la misma forma, pero unas dimensiones menores a tenor de la boca y la superficie, aunque el área no se conserva en su totalidad. El tercer horno, el más pequeño, tenía en la parte superior de esta bóveda un remate para soportar un depósito denominado *testudo alvei*, destinado a calentar el agua del *alveus* (Yegül 1992, 374-375)<sup>173</sup>. Se trataba de un depósito metálico, cuyo fondo plano descansaba sobre los muros laterales y donde la cubierta semicilíndrica formaba una vuelta adaptada al arco situado en el muro que comunicaba con el interior del *alveus*, donde el agua era calefactada directamente en el horno. Por este sistema, el agua fría va al fondo, mientras que la calentada asciende, creando una circulación constante.



Ilustración 142. *Cella fornacarii*. Vista frontal de los *praefurnium* que alimentan el *caldarium*.

La palestra es un gran espacio rectangular al aire libre de aproximadamente 960 m<sup>2</sup> que ocupa la mitad meridional del edificio termal y corre paralela a las salas de baño, destinada fundamentalmente a la realización de ejercicios físicos. En ella se diferencian varios espacios: en la parte oeste y sur se sitúa un pórtico que encierra la zona de la palestra; en la parte sur del porticado, siguiendo el pavimento, se documenta una balsa, posiblemente una fontana, y en el ángulo noroeste se encuentra la *natatio*, piscina prácticamente cuadrada de 36 m<sup>2</sup>, con una profundidad de 1,50 m, revestida con un

---

<sup>173</sup> F. K. YEGÜL (1979). "The Small City Bath in Classical Antiquity and a Reconstruction Study of Lucian's Bath of Hippias", *Archeologia classica*, XXXI, pp. 108-131.

pavimento de ladrillos romboidales recibidos con mortero hidráulico. Los paramentos laterales están realizados con sillares de piedra caliza y revestidos también con mortero hidráulico que en superficie conforma una zona de seguridad o corredor perimetral que la envuelve. En uno de los ángulos se conserva la escalera de bajada, formada por cinco peldaños, cada uno de un bloque de arenisca revestido con *opus signinum*. El pavimento del fondo era de ladrillos romboidales de diversas coloraciones y presentaba en todos sus lados la característica moldura de media caña.



Ilustración 143. Palestra y *natatio* de las termas mayores.

Tanto el sistema hídrico como el térmico se explican en sendos capítulos específicos para comprobar su comportamiento.



Ilustración 144. Reconstrucción del exterior del complejo de las termas mayores desde la zona de llegada del agua y de la entrada a la *cella fornacarii*, a partir del modelo arquitectónico de Julián Esteban y Elisa Moliner. Autor: Global Mediterranea, S. L.

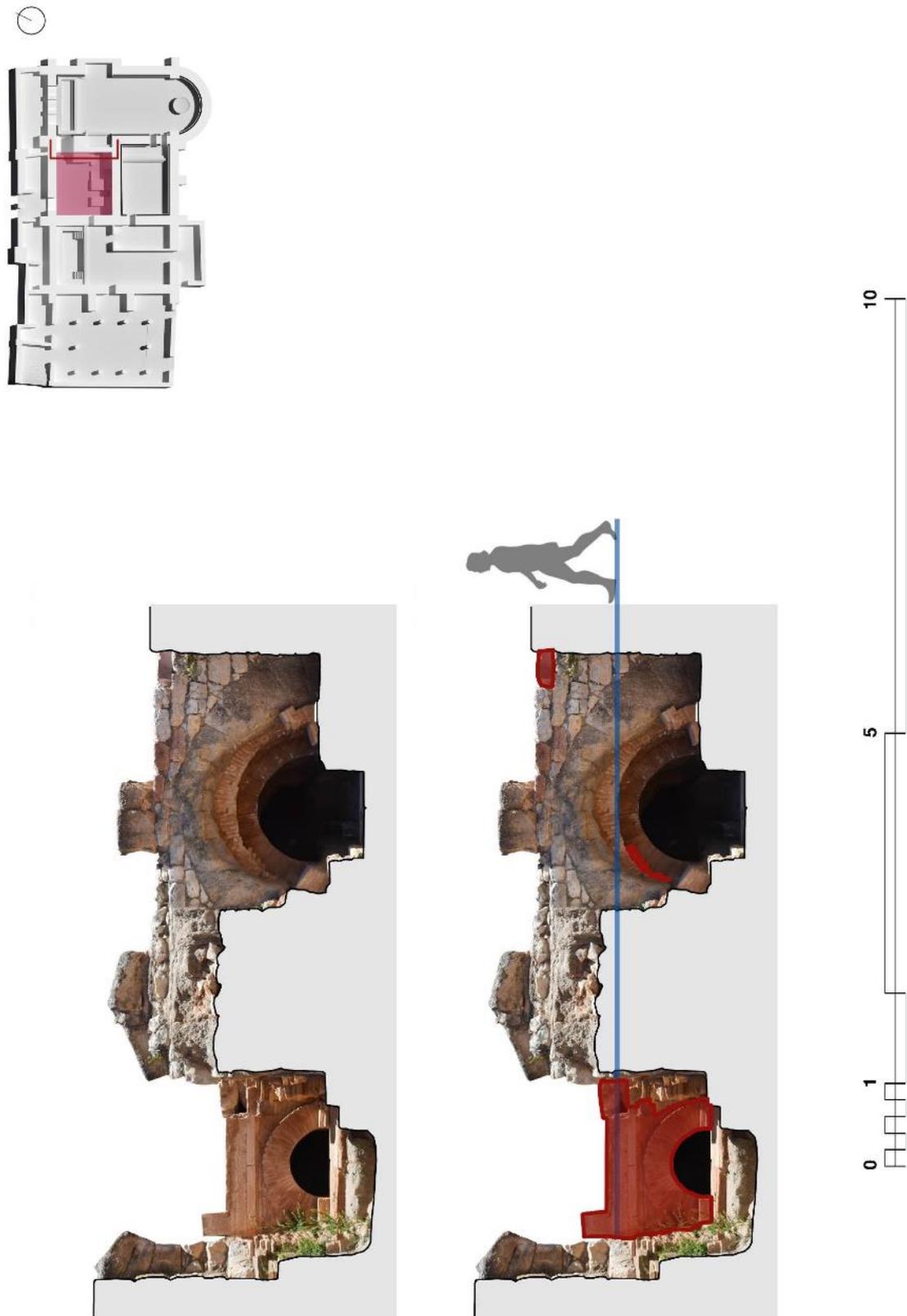


Ilustración 145. Fotoplano correspondiente al alzado NE de la *cella fornacarii* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.



Ilustración 146. Fotoplano correspondiente al alzado NO de la *cella fornacarii* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

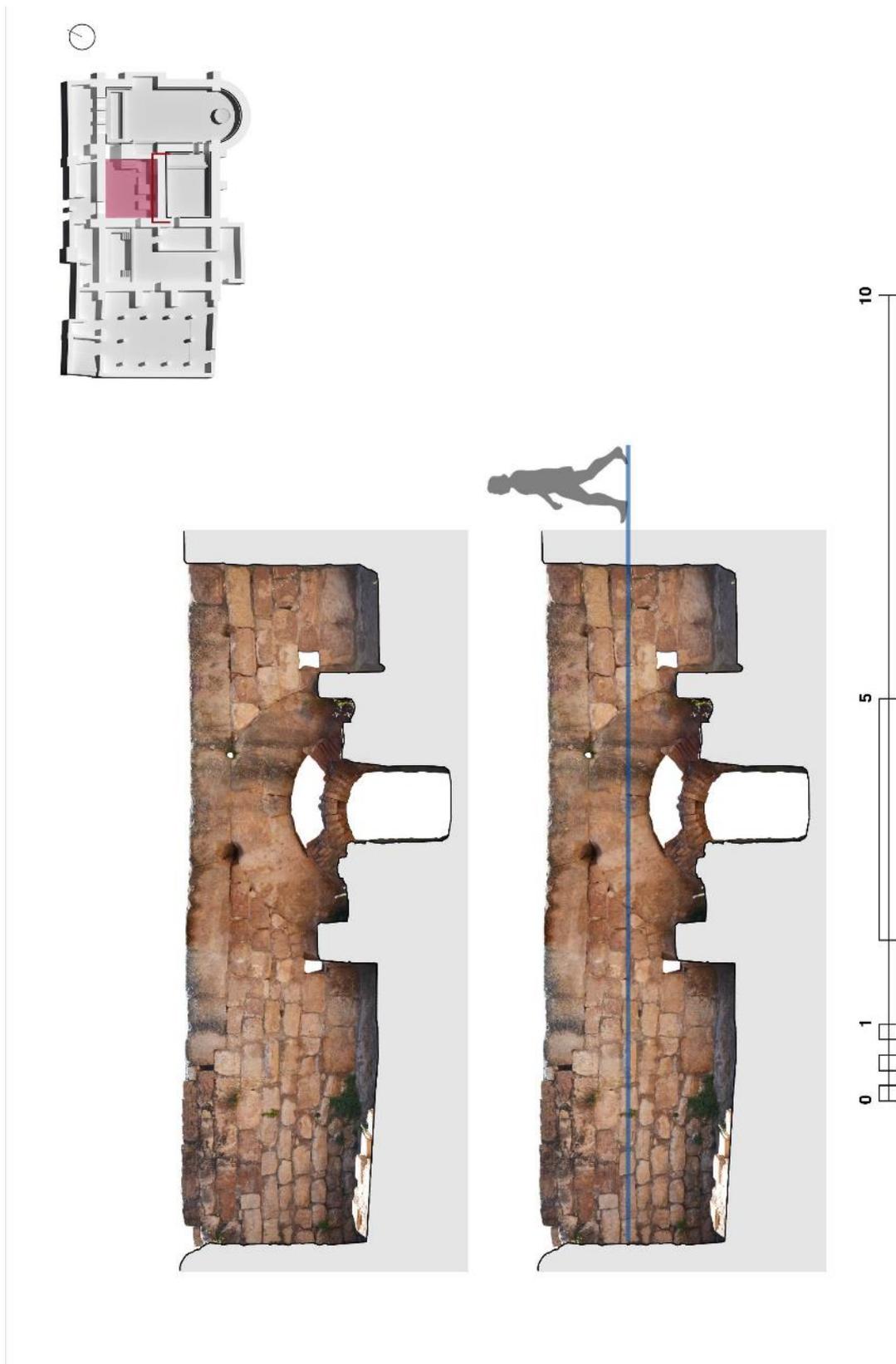


Ilustración 147. Fotoplano correspondiente al alzado SE de la *cella fornacarii* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

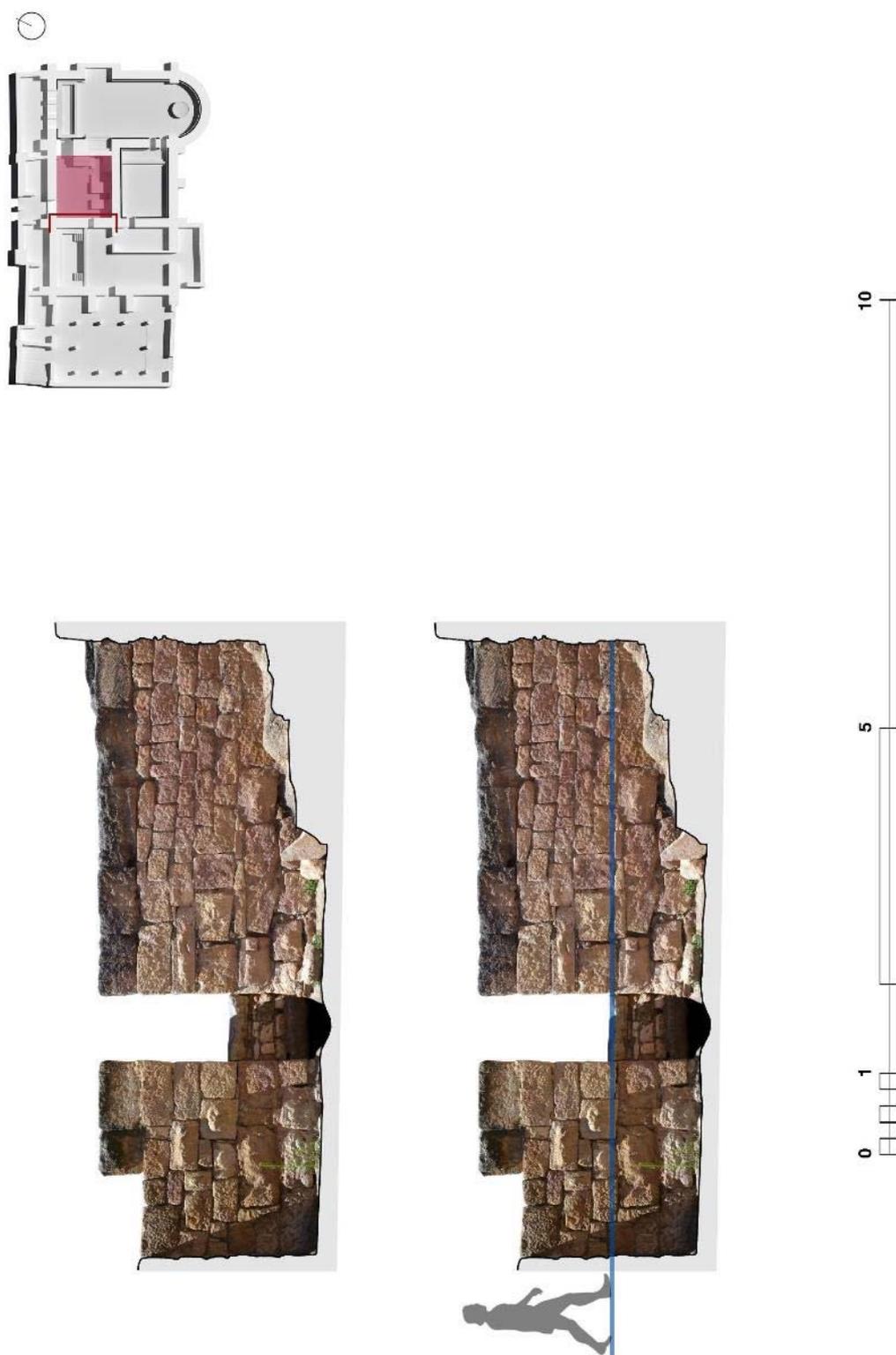


Ilustración 148. Fotoplano correspondiente al alzado SO de la sala de la *cella fornacarii* desde la cota del terreno. La zona sombreada corresponde a las reconstrucciones realizadas en la última intervención.

### 2.3.2. Termas menores

Las termas menores, construidas en forma de L, cierran el conjunto termal por el sureste. Los restos conservados ocupan una superficie aproximada de 1.500 m<sup>2</sup>, de los cuales 650 m<sup>2</sup> pertenecen al edificio termal propiamente dicho y los 850 m<sup>2</sup> restantes a dependencias para el mantenimiento del conjunto y la palestra. Las salas que configuran este edificio son: una palestra al aire libre; una *basilica thermarum*; un *frigidarium-apodytherium*; una piscina calefactada; un *tepidarium*; un *caldarium* y dos *praefurnia*.

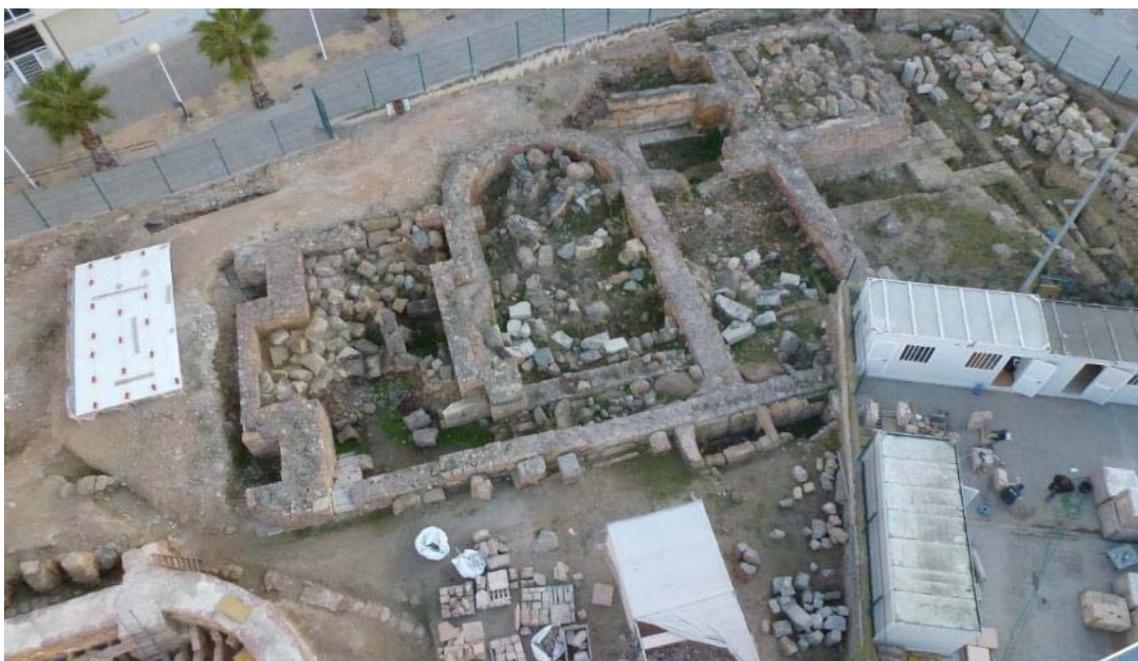


Ilustración 149. Termas menores. Estado durante la intervención de 2011.

La palestra es la primera sala de las termas, a través de la cual se accede al interior del recinto. Se pueden diferenciar dos zonas: el corredor porticado lateral de tres metros de anchura que conduce a la *basilica thermarum* y un espacio abierto de 176 m<sup>2</sup>, en el que se documenta una pequeña *natatio*, donde se practicaban los deportes.

La *basilica thermarum* es un espacio de planta rectangular (18 × 10,90 m) con un espacio central enmarcado por sillares que definen el pórtico, probablemente de tres columnas en el lado corto y de seis en el largo. Alrededor de este patio central se conserva un pavimento de ladrillos romboidales y restos de pintura mural policromada en las paredes con motivos geométricos.

El *apodytherium-frigidarium*, primera sala de baños, es de planta rectangular (11,90 × 6,30 m) de 75 m<sup>2</sup>, con una *aedicula* lateral (5,60 × 4 m) de unos 22 m<sup>2</sup>, a la que se

accedía desde la *basilica thermarum*. Su distribución interior permite suponer la existencia de dos ambientes con funciones distintas: el *apodyterium* y el *frigidarium*.

La piscina cálida es el elemento innovador respecto de las termas grandes. Consta de una sala de planta ligeramente rectangular, con una superficie estimada de 40 m<sup>2</sup>, situada en la parte sureste del edificio siguiendo el mismo eje que el *apodyterium-frigidarium* y las palestras exteriores. En el lado este se observa una cámara hueca o *concameratio* de 17 a 20 cm de ancho, realizada con ladrillos revestidos con *opus caementicium* para calentar la sala y permitir la evacuación de los gases calientes, con chimeneas embebidas a los muros. El nivel de las guías de sustentación de la caldera del *prae-furnium* indica que la estancia debía tener un pavimento en suspensión sobre arcos de ladrillos que conformarían el *hypocaustum*.

El *tepidarium* es una sala de planta rectangular (10 × 6 m), con una superficie de 60 m<sup>2</sup>, a la que se accede desde el *apodyterium/frigidarium*. Como estancia cálida presentaba pavimento suspendido sobre un *hypocaustum* de arcos de ladrillos y un acabado de losetas romboidales. En el muro de separación con el *caldarium* aparecen unas perforaciones distribuidas de forma regular que permiten el paso de calor procedente de esta última sala.

El *caldarium* es una sala de planta rectangular, de unos 100 m<sup>2</sup>, rematada en ábside. Tiene una longitud de 15,10 m y una anchura media de 6,70 m. La distribución de los espacios es similar al de la *cella caldaria* de las termas mayores, con el *alveus* en un extremo, una *aedicula* lateral y la *schola labri* rematada en ábside en la parte opuesta. El pavimento está suspendido. El *hypocaustum* queda formado por arcos de ladrillos, excepto en el ábside, donde probablemente fuera de *pilae*. Los dos tipos de dovelas recuperados en su interior parecen configurar una cubierta abovedada de 5 m de luz, en la que alternarían arcos en los que ambos tipos de dovelas quedarían perfectamente trabados. Entre los arcos creados por las dovelas se insertarían ladrillos que generan una cámara hueca para la evacuación del humo de la sala.

La *cella fornacarii* del *caldarium* en las termas menores, igual que en las termas mayores, se caracteriza por ser una sala de planta básicamente rectangular con *aediculae* laterales. La superficie estimada para este espacio es de unos 62 o 64 m<sup>2</sup>, ya que tiene una longitud de 10,62 m y, a pesar de que tiene una anchura variable en función de la ubicación de las *aediculae*, llega a ser de 7 m en el centro de la habitación, si bien la anchura media es de 5 m. A esta sala se accede por dos puntos diferentes. Uno, vinculado al área de servicios, usado para la descarga del material de combustión, y el otro, comunicado con la palestra de las termas mayores y que estaba destinado exclusivamente para el personal de servicio. Se conservan en perfecto estado, al menos, ocho escalones de piedra caliza. En el interior de la sala se han observado dos hornos conectados con el *caldarium*; uno que

se relaciona directamente con el gran *alveus*, calentando mediante el sistema de *testudo*, y otro que comunica con el *hypocaustum* del *caldarium* a través de la *aedicula* lateral, que presenta la misma disposición que la *cella fornacarii* de las termas mayores. Este conjunto presenta un segundo *praefurnium* que aporta calor a la piscina cálida y al *tepidarium* o *assa susatio*. Es una sala de planta ligeramente rectangular (5,20 × 4,70 m).

Estas termas son las menos estudiadas, ya que apenas se encuentran excavadas. Es voluntad de esta tesis proponer una futura investigación que complete el conocimiento de este gran complejo termal con el estudio de este segundo edificio.

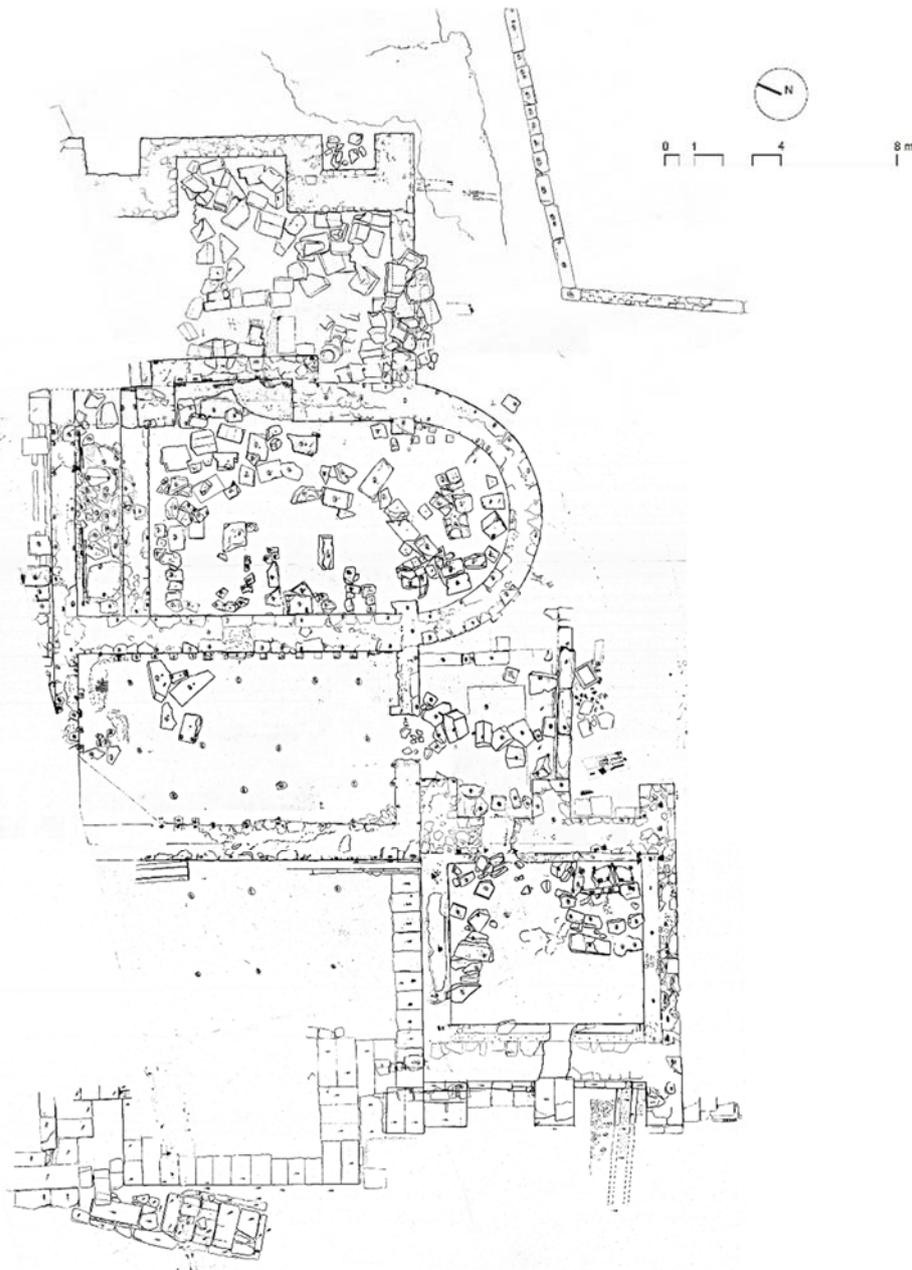


Ilustración 150. Levantamiento gráfico de las termas menores en la actualidad. Toma de datos perteneciente al proyecto redactado por Vicent Escrivà, Xavier Vidal, Margarita Vila y Lluís Orts en agosto de 2017 para solicitar el permiso de excavación de las mismas.

### 2.3.3. Materiales cerámicos

Los materiales cerámicos empleados en las termas son los elementos constructivos que más datos nos aportan, no solo por su forma sino por su función, que siempre va ligada para resolver cualquier exigencia que este tipo de edificios presente. Es por ello que se pretende realizar una catalogación de cada pieza encontrada con la descripción de su forma y la justificación de su aplicación en las termas mayores de Mura.

Los *lateres cocti* eran producciones artesanales que se fabricaban en talleres próximos a la ciudad para abastecer de forma rápida la demanda de las nuevas construcciones urbanas. Además, se solían ubicar en espacios próximos a las fuentes de aprovisionamiento de materias primas necesarias para su producción, arcillas y agua, es por ello que los centros alfareros del *municipium* de Edeta se han localizado en ramblas próximas a la urbe. Por último, uno de los factores que potenciaba el hecho de que se instalaran fuera del recinto urbano era que se trataba de una industria que emitía malos olores y gases que perjudicaban la salubridad de la población.

El proceso era muy elemental. En un primer momento, la arcilla se depuraba de posibles impurezas antes de ser amasada y moldeada. Se le añadían desengrasantes orgánicos antes de depositarla en el interior de un molde paralelepípedo, pasándole un rasero para igualar las masas. Los ladrillos cocidos generalmente presentan algún tipo de marca realizada con los dedos o alguna inscripción que identifica al artesano y la procedencia. Durante este proceso de secado las piezas solían disminuir su tamaño en un porcentaje en torno a un 10 %. La última etapa en el proceso de fabricación es la cocción, para la cual se utilizaron probablemente hornos similares a los documentados en el centro alfarero de Rascanya, en las proximidades de Edeta.

Este horno se documentó con motivo de la construcción de la autovía Valencia-Llíria, en el año 1991, tras localizarse a la altura del kilómetro 1, junto al camino vecinal que comunica Llíria con Benissanó, próximo a la rotonda de entrada a Llíria este desde la autovía. Se excavaron cuatro hornos dispuestos alrededor de un patio central, de los que se conserva la parte correspondiente a la cámara de combustión y a la parrilla. Los hornos son de planta rectangular, cuadrada y circular (Escrivà *et al.* 2001).

Frente a los mismos, al otro lado del camino, se documentaron restos de diversas dependencias que cabe relacionar con el proceso de fabricación de los materiales cerámicos. Este espacio aparece delimitado por el norte por un muro de sillería de piedra toba, conservada en la actualidad como margen de un antiguo camino. En el interior se pueden distinguir dos ambientes bien diferenciados, definidos por dos dependencias rectangulares de dimensiones similares (5 × 4 m) con pavimentos de losas en un caso y de *tegulae* en otra. En el exterior, en un espacio al aire libre que comunica con el área

doméstica, se excavó parcialmente un posible pozo votivo del siglo III d. C. con abundante material cerámico y restos de animales.

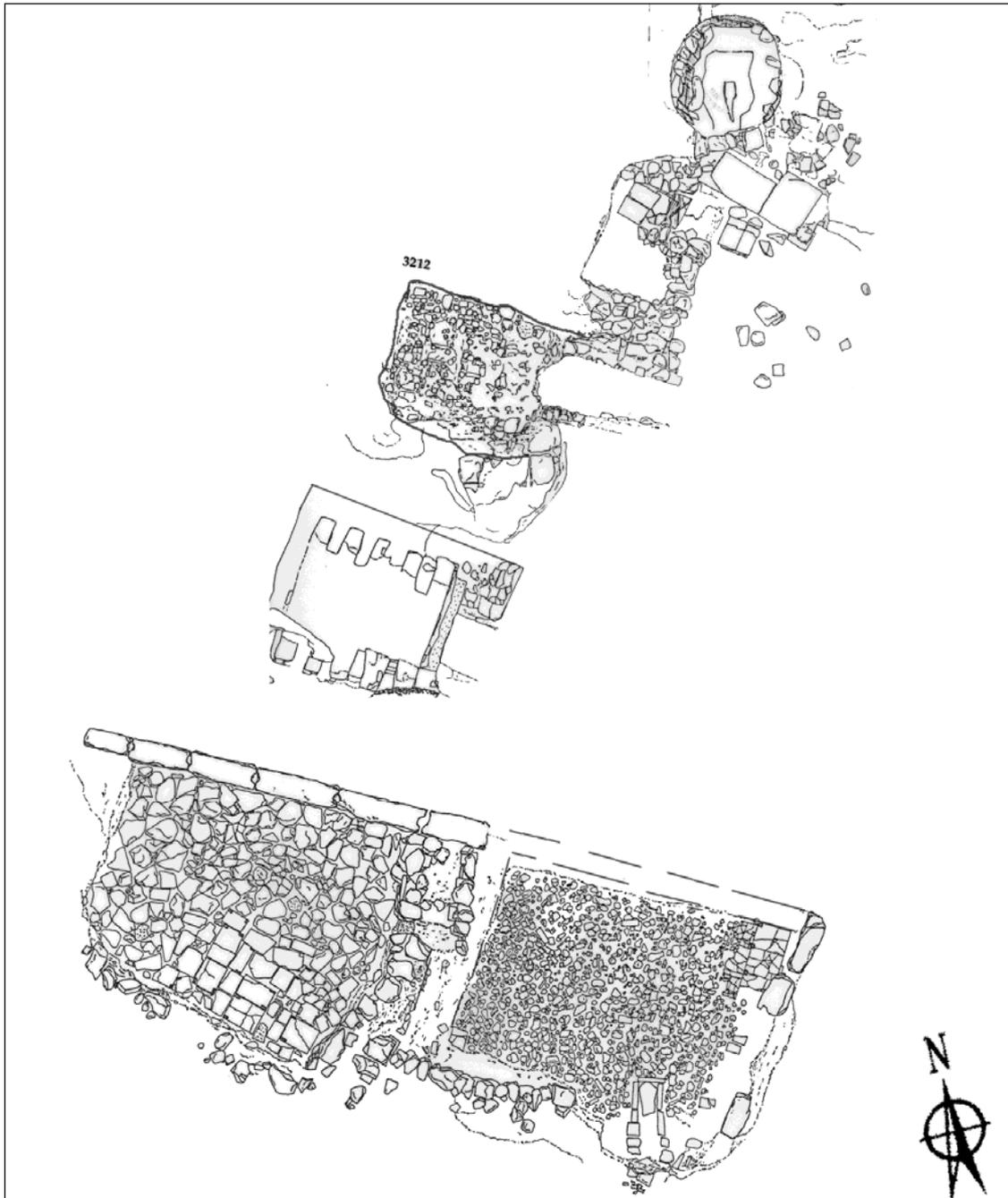


Ilustración 151. Planta del centro alfarero de Rascanya (Escrivà *et al.* 2001).

Los tipos de ladrillos más habituales durante el imperio eran los *lydion*, los *bessalis*, los *pedalis*, los *sesquipedalis* y los *bipedalis*. Estos tipos de piezas aparecen descritas por Vitruvio y varios investigadores más, tal y como se han descrito en el capítulo 1 de esta tesis.

La denominación *lateres cocti* define todos los productos cerámicos empleados en una construcción y que presentan distintas dimensiones y formas. En el caso de la construcción de un complejo termal es el material más empleado, dada su versatilidad en la fabricación, acorde con la cantidad y diversidad de ladrillos utilizados en cada lugar que la funcionalidad de las termas exige. El proceso de elaboración abarcaba desde la extracción de la arcilla hasta su posterior cocción, pudiendo llegar en ocasiones a pasar varios años hasta que las piezas fueran óptimas para su uso<sup>174</sup>.

Los tipos de ladrillos utilizados en las termas mayores han sido documentados por los arqueólogos Vicent Escrivà, Xavier Vidal y Carmen Martínez, encargados de la investigación del complejo (Escrivà *et al.* 2001; Escrivà *et al.* 2017) y han llegado a la conclusión de que la gran variedad tipológica y la buena factura de muchos de ellos estaba acorde con la monumentalidad del edificio. Hay que indicar, tal y como se adelantó en el capítulo primero, que la fábrica de ladrillo se usó fundamentalmente en la construcción de los *hypocaustum*, en la ejecución del soporte de los suelos flotantes, la suspensura de las salas calefactadas, en los pavimentos con acabados cerámicos, las paredes huecas, *concameratio* o las dobles bóvedas para evacuación de gases.

En las termas mayores de Mura la utilización más abundante de las piezas de ladrillo la constituye las piezas *cunneati*, encargadas de generar el arco según se van depositando unas sobre otras, aunque el empleo de las *pilae* se constata en algunos espacios, como en el ábside del *caldarium*. y en el *tepidarium* como apoyo en los bordes de sala o conexiones con la *cella fornacarii*.

Todas las piezas cerámicas utilizan para su ejecución morteros de cal con la dosificación ya estudiada con adición de material cerámico triturado utilizado como árido. En ocasiones para mejorar la adherencia se hacían marcas en las superficies para crear rugosidades.

Los distintos tipos de materiales cerámicos se describen a continuación definiendo sus dimensiones y su ubicación.

#### Ladrillo *bessale*

Se documenta su empleo en los *pilae* del *destrictarium* y *tepidarium* de las termas mayores y en el *caldarium* y *tepidarium* de las termas menores, con las siguientes dimensiones:

---

<sup>174</sup> Vitruvio aconsejaba dejar almacenados los ladrillos durante un periodo de dos años antes de su empleo. Este hecho se ha podido experimentar durante la intervención realizada en los años 2010-2012, en la que las piezas cerámicas más grandes, como el *bipedalis*, presentaron mucha dificultad técnica de fabricación debido a la necesidad de un secado lento para que no afectase la presencia de agua en la fase de cocción a causa de su gran espesor y tamaño.

1) Ladrillos de 28/28,5 a 29 cm de lado y 4 cm de grosor. En las *pilae* del *tepidarium* de las termas mayores.

2) Ladrillos de 24,8 a 25,4 cm de lado y 4,5 a 4,8 cm de grosor. En las *pilae* del *tepidarium* y del *destrictarium* de las termas mayores.

3) Ladrillos de 22,5 a 23,5 cm de lado y 5,5 a 6,7 cm de grosor. En las *pilae* del *tepidarium* de las termas mayores y en el *caldarium* de las termas menores.

4) Ladrillos de 21,8 a 22 cm de lado y 4,8 a 5,4 cm de grosor. En las *pilae* del *tepidarium* y del *destrictarium* de las termas mayores y en el *caldarium* y *tepidarium* de las termas menores.

5) Ladrillos rectangulares con unas dimensiones de 29 a 30 cm de soga, de 22 a 23 cm de tizón y de 7,5 a 8 cm de grosor. En el *tepidarium* de las termas mayores.

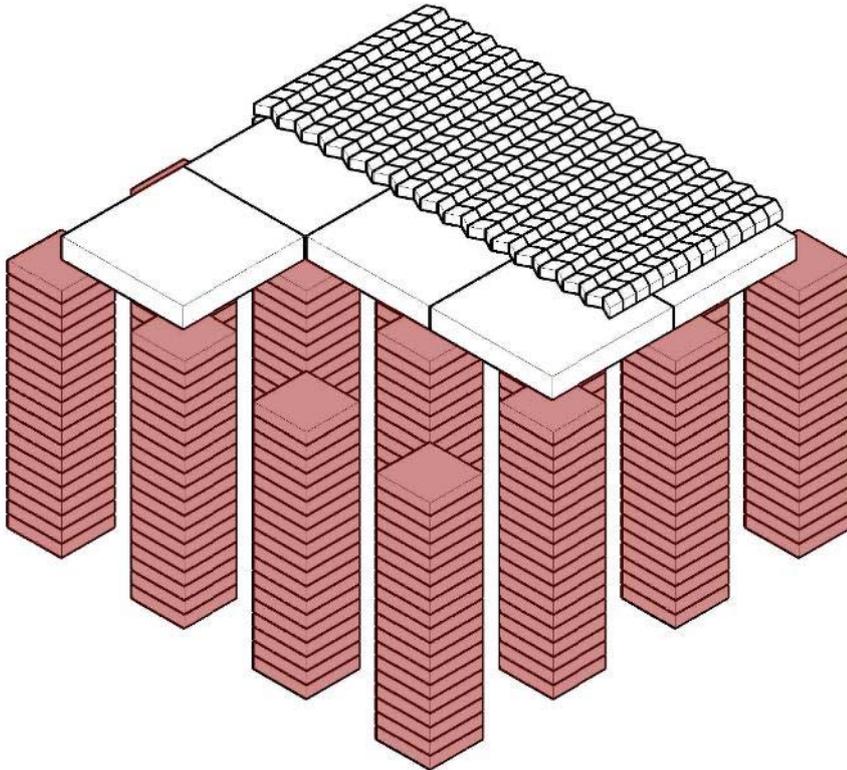




Ilustración 152. Ladrillo *bessale* para formación de *pilae*.

### Ladrillos *cunneati*

Son los ladrillos utilizados fundamentalmente como dovelas en los arcos del *hypocaustum*, tanto en las termas mayores como en las termas menores.

1) *Cunneati* de 31 a 32,5 cm de rosca; 45,5 a 46,5 cm de ancho-tizón; 7,5 cm de trasdós y 4 cm de intradós. En las *pilae* del *tepidarium* y en las arquerías de los *hypocaustum* del *tepidarium* y del *caldarium* de las termas mayores.

2) *Cunneati* de 29,5 a 30,5 cm de rosca; 21,5 a 22,5 cm de ancho; 4,7 a 5,5 cm de trasdós y 3,2 a 4,0 cm de intradós. En las arquerías de los *hypocaustum* del *caldarium* y del *tepidarium* de las termas mayores.

3) *Cunneati* rectangulares de 29,5 a 30,5 cm de rosca; 22,5 cm de ancho; 7 a 7,5 cm de trasdós y 4 cm de intradós. Algunas piezas que conforman la clave del arco, de dimensiones similares, más que de *cunneati* parece tratarse de ladrillos rectangulares recortados.

4) *Cunneati* de 28,0 a 28,9 cm de rosca; 21,0 a 22,5 cm de ancho; 5,2 a 5,7 cm de trasdós y 3,5 cm de intradós. En el *caldarium* y en el *tepidarium* de las termas menores.

5) *Cunneati* de 27,0 a 27,5 cm de rosca; 21,0 cm de ancho; 5,5 a 6,5 cm de trasdós y 3,5 a 4,0 cm en el intradós. En el *tepidarium* de las termas menores.

6) *Cunneati* de 24,5 cm de rosca; 21,5 cm de ancho; 4,8 cm de trasdós y 3,5 cm de intradós. En la cubierta de la canal del acueducto. Algunas piezas, es posible, en el paramento de ladrillos del *districtarium* de las termas mayores.

7) *Cunneati* de 22,5 a 23,0 cm de rosca; 22,5-23,0 cm de ancho; 5,2 a 6,0 cm de trasdós y 3,5 a 4,0 cm en el intradós. En el *caldarium* de las termas menores.

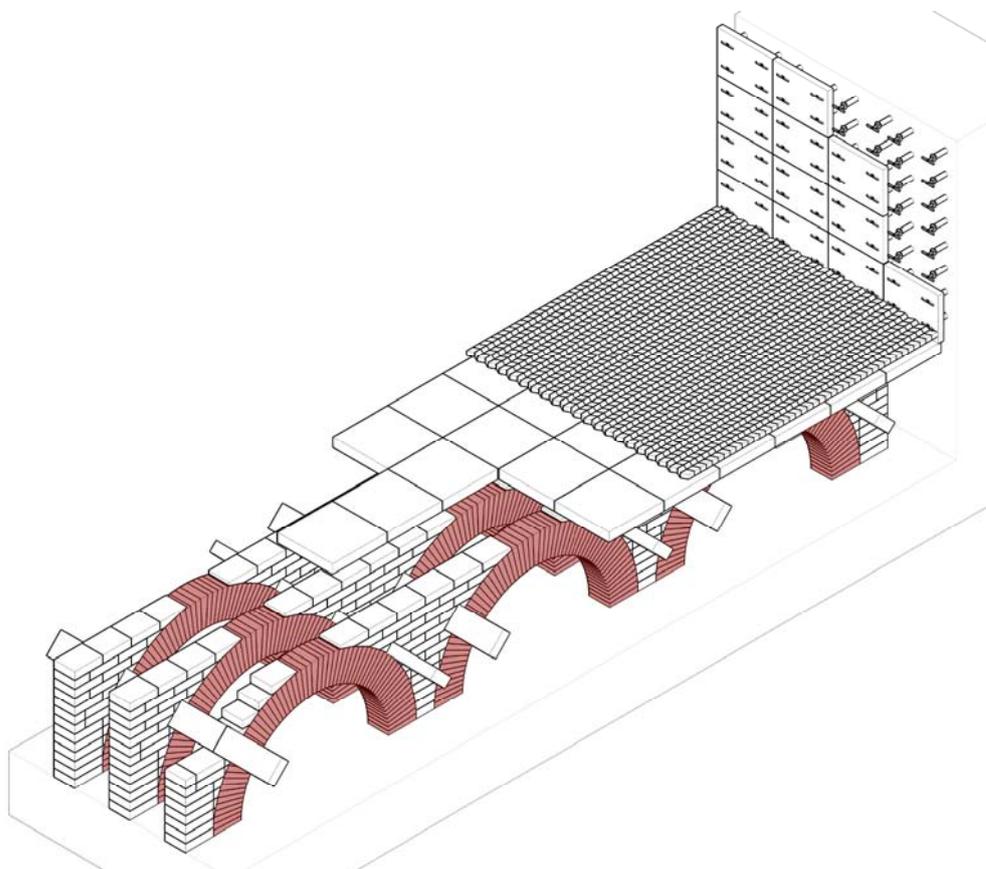




Ilustración 153. *Cunneati*.



Ilustración 154. Detalle de los arcos de suspensión del *caldarium* confeccionada con ladrillos *cunneatti*.

#### Ladrillos utilizados para sustentar la suspensura y los pórticos de arcos

Existen dos tipos de ladrillos bastante singulares con la misión de estabilizar estructuralmente tanto la suspensura como los pórticos de los arcos que forman el *hypocaustum* del *caldarium*.

1) Ladrillos dispuestos en los pasos de calor situados debajo de los vanos de comunicación entre el *caldarium* y el *tepidarium* de las termas mayores. Ladrillos con extremos en forma de cola de milano. Tienen 44,5 cm de soga, 10,5 cm de tizón y 7,5 a 8,4 cm de grosor.

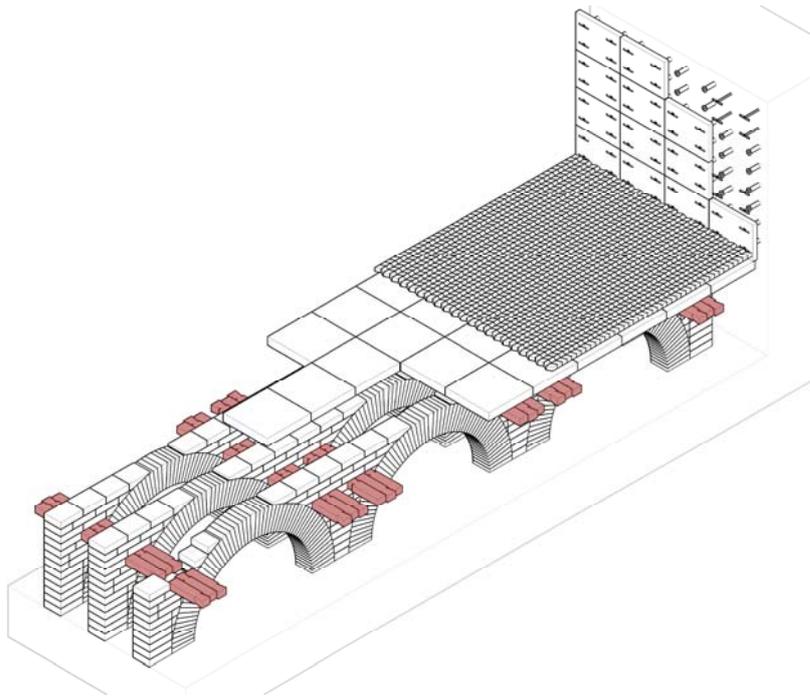


Ilustración 155. Pieza especial de unión.

2) Ladrillos utilizados para la construcción del tabique para reforzar los riñones de los arcos. Ladrillo de 58,5 a 59 cm de soga, 22 cm de tizón y 9,5 a 10 cm de grosor.

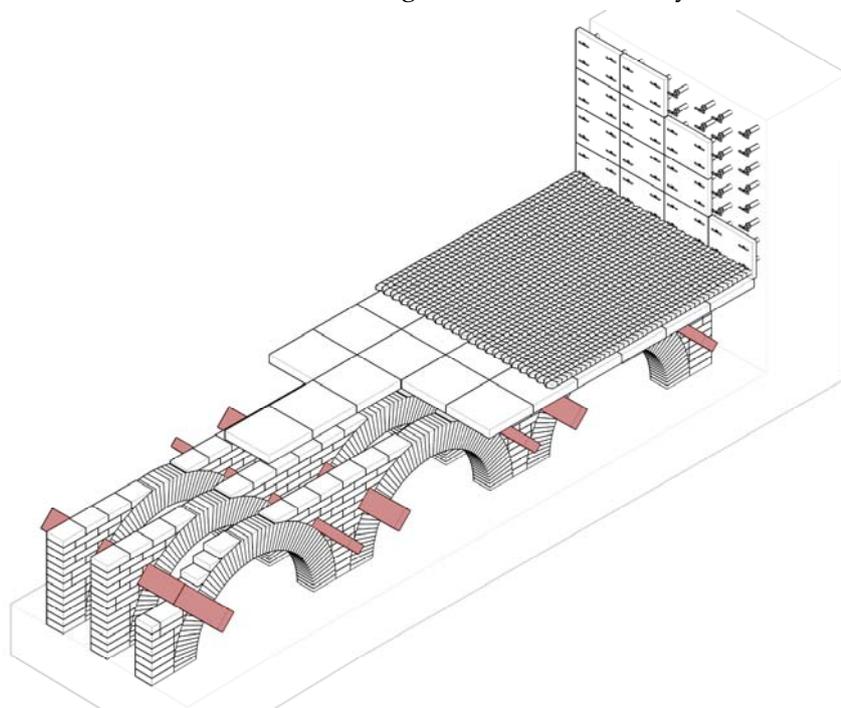


Ilustración 156. Pieza rectangular situada para reforzar los riñones de los arcos.

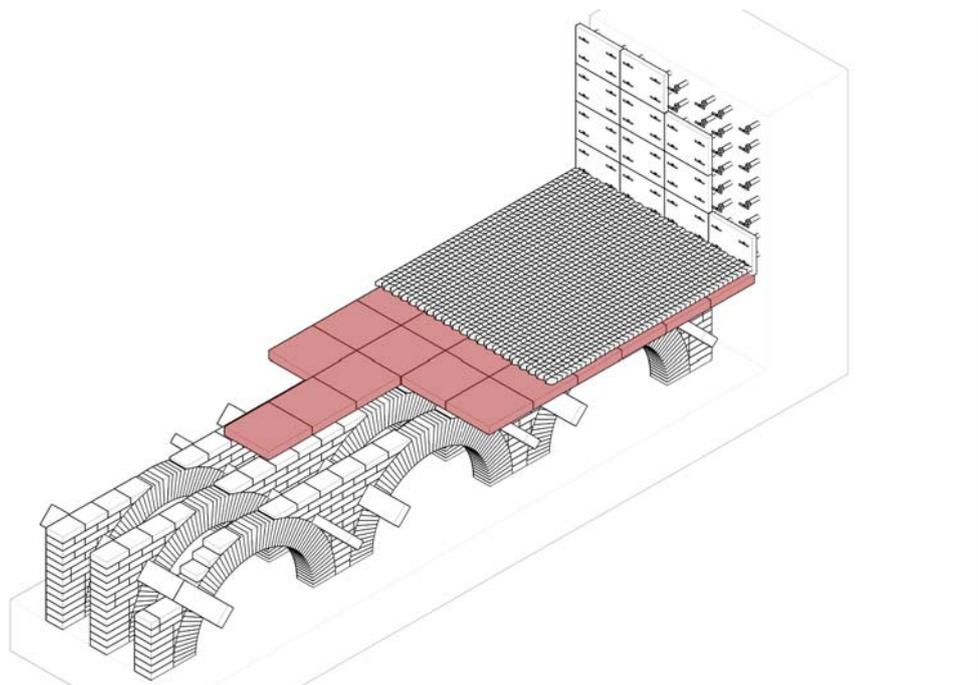


Ilustración 157. Pieza rectangular en la que se conservan las marcas de los *clavii caligarii* de las *caligae* de un joven.

### Ladrillo *bipedalis*

Ladrillos de aproximadamente 59,5 a 60,5 cm de lado y 10,0 a 10,5 cm de grosor. Dispuestos en la *suspensurae* sobre las arquerías del *caldarium* y *tepidarium* de las termas mayores. En el *caldarium* de las termas mayores se contabilizan un total de 408 *bipedalis*, mientras que en el *tepidarium* sería de 150.

Ladrillos de 66 × 60-64 cm y 9 cm de grosor y una tipología más singular con las dimensiones de 62 × 51 cm y 9 cm de grosor. Sobre las *pilae* del *detractarium* de las termas mayores.



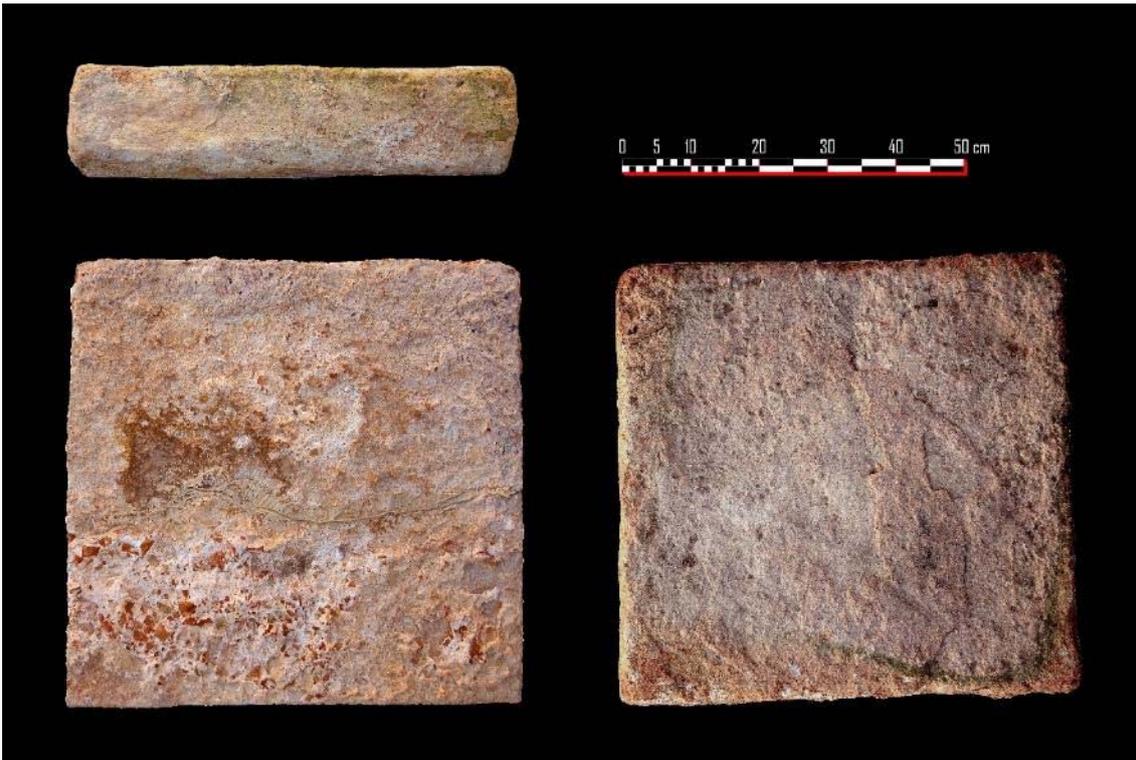
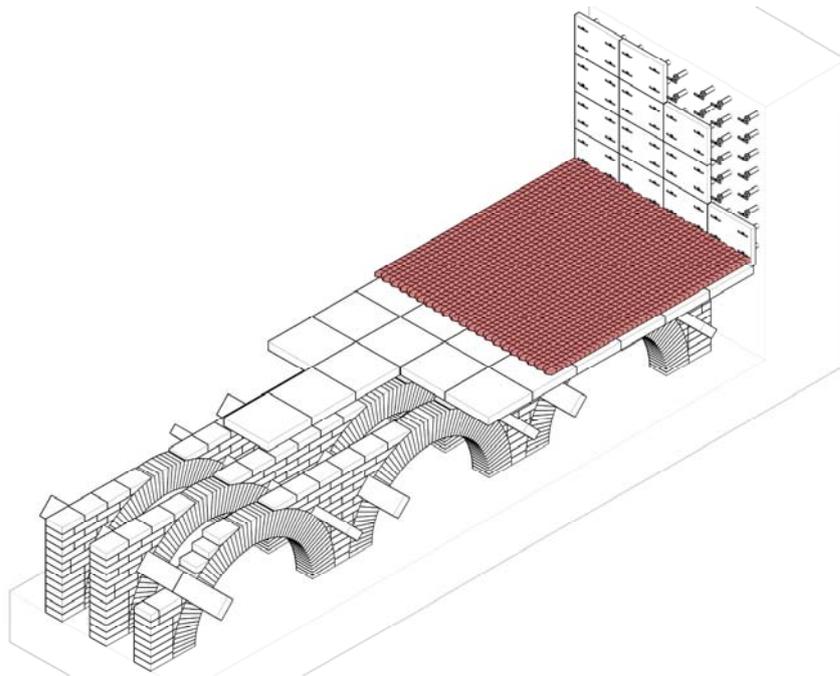


Ilustración 158. *Bipedalis*.

#### Ladrillos pavimento romboidales

Corresponden a una determinada tipología en la que se manifiesta una forma predominante que es la romboidal pero que tiene numerosas dimensiones en sus aristas y su grosor. Estas piezas deberían de ser las más fáciles de conformar y obtener por su pequeño tamaño, pero, sin duda, deberían de ser las más costosas de colocar ya que deben de seguir unas alineaciones rectas determinadas, y una traba en las puntas para formar una espiga.

- 1) Ladrillos romboidales de  $10,5 \times 6,5$  cm y un grosor de 3-4 cm para el pavimento.



2)



Ilustración 159. Pieza romboidal para pavimento.

2) Ladrillos romboidales de  $12 \times 8$  cm y un grosor de 4-5 cm utilizados a partir del siglo II d. C. en las reparaciones del pavimento de la *basilica thermarum*.



Ilustración 160. Pavimento de la *basilica thermarum*.

### Materiales latericios específicos de las *concameratio*

El sistema de *tubulatura* o doble pared para la circulación del aire caliente se construye con tubos espaciadores, clavos de hierro y ladrillos con escotaduras. Los ladrillos *bipedalis*, con perforaciones o escotaduras en las esquinas, estaban sujetos por *clavi coctili* insertados en el muro maestro por largos clavos de hierro con cabeza aplanada.

*Clavi coctiles*. Tipo 4-a/4-b (Sanz Gamo 1987). Piezas cerámicas circulares de 14 a 15 cm, abiertas por los dos extremos, de forma troncopiramidal con un reborde en el lado estrecho denominados también “tubos espaciadores”. En la *concameratio* del *caldarium* de las termas mayores y menores.

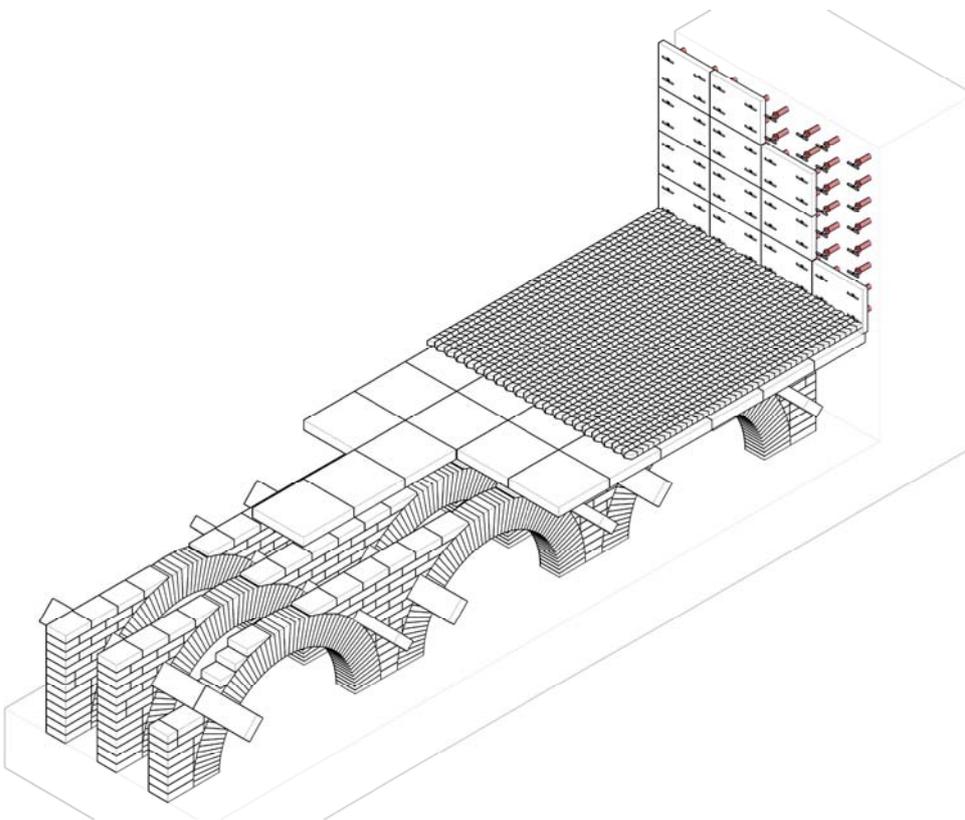




Ilustración 161. *Clavi coctiles*.



Ilustración 162. *Clavi coctiles*.

*Parietales tegulae*. *Tegulae* rectangulares de 59 a 60 cm de soga, 44 cm de tizón y 5,2 cm de grosor. Son los ladrillos que cierran la *concameratio* y que presentan orificios para poder pasar la clavija de hierro que las sujeta.



Ilustración 163. Reconstrucción de las *parietales tegulae* para formar la *concameratio*.

#### Material latericio específico de la cubierta abovedada

El *caldarium* presentaba una cubierta abovedada construida con arcos independientes. Cada dovela de sillería presenta un rebaje interno para insertar ladrillos. La combinación resultante da lugar a una especie de “ladrillos dovela” empleados para la construcción de las bóvedas que, en combinación con las dovelas de sillería, cubrían las habitaciones calefactadas, con el fin evitar la condensación del agua y las molestas gotas frías a los bañistas. En el *tepidarium*, en cambio, se ha documentado la existencia de chimeneas encastradas en los paramentos para la evacuación del humo y los gases producidos por la combustión hacia el exterior del edificio.

- 1) Ladrillos de 81,4 cm de soga por 15 cm de tizón y 3,8 cm de grosor. En el *caldarium* de las termas mayores.
- 2) Ladrillos de 72 cm de soga por 15,2 cm de tizón y 4 cm de grosor. En el *praefurnium* y en el *caldarium* de las termas menores.



Ilustración 164. Pieza de gran formato.



Ilustración 165. Detalle del encuentro de las *parietales tegula* con las piezas encastradas en las dovelas de la bóveda.

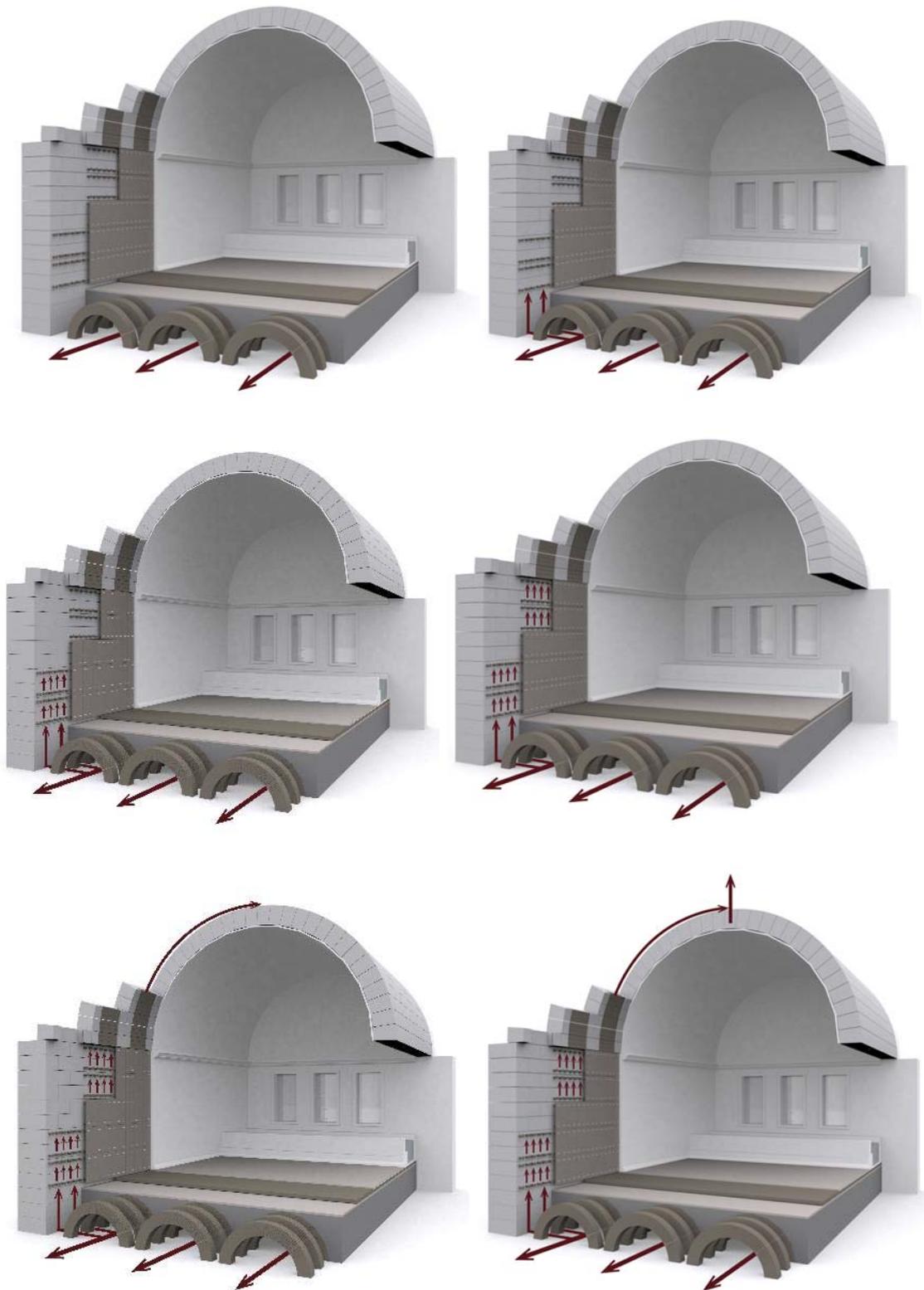


Ilustración 166. Secuencia de circulación del aire caliente por el interior de la *concameratio* hasta la salida al exterior.

### Material de cubierta. *Tegulae e imbrices*

El material cerámico de cubierta presenta varias hipótesis atendiendo a la forma constructiva que debería resolver la evacuación del edificio. Tan solo se han documentado restos pertenecientes a *tegulas* e *imbrices*, lo que determina un tipo de cubierta resuelta a dos aguas. Pero la poca cantidad de *imbrices* también determina el que pudiera resolverse, parte del edificio, mediante una cubierta plana, dada la necesidad funcional de acceder a los sistemas de conducción del aire caliente.

Los dos tipos de material cerámico que componen el sistema de cubierta a dos aguas son los siguientes:

1) *Tegulae*. Piezas cerámicas rectangulares (52 × 38 cm) y planas con dos salientes engrosados en sus lados largos. Estos lados largos estaban preparados para que las *tegulae* pudieran solaparse sobre el borde superior de la colocada previamente.

2) *Imbrices*. *Lateres cocti semicilíndricos* (49 a 50 cm) con los que se cubrían las líneas de unión entre las filas de *tegulae* planas una vez ensambladas, evitando cualquier posibilidad de filtración de aguas. Estaban igualmente preparadas para acoplarse unas con otras.



Ilustración 167. *Tegula e imbrice*.



Ilustración 168. *Imbrice*.



Ilustración 169. *Tegula*.

#### 2.3.4. Materiales pétreos

La arquitectura de las ciudades romanas, en gran parte, estuvo supeditada a la disponibilidad de materiales pétreos locales de cierta calidad para la construcción. Para el programa decorativo en el interior de las edificaciones se preferían mármoles, normalmente de importación, ya que de esta forma también se daba importancia al lujo y a la ostentación de materiales procedentes de otros lugares del Imperio. Es también muy común la presencia de una tradición edificatoria con operarios y artesanos capaces de acometer los programas constructivos y decorativos que la población deseaba para su ciudad (Cebrián y Escrivà 2001, 97)<sup>175</sup>.

En la ciudad de Edeta, como es normal, en sus construcciones públicas y privadas se utilizaron los materiales pétreos que fueran óptimos para la edificación y que se encontraran en su entorno más inmediato. El hecho de que la mayoría del suelo que ocupa la ciudad romana sea una pequeña elevación del Terciario (calizas micríticas con algas tubulares y gasterópodos) y por tanto la base geológica pudiera ser apta para la obtención de materiales pétreos para la construcción, facilitó y potenció su crecimiento como *urbs*, ya que al mismo tiempo que se obtenían bloques pétreos, se procedía a la nivelación en terrazas creando plataformas donde posteriormente se edificara la ciudad del siglo I d. C., al igual que ocurre en Tarraco (Puche 2010)<sup>176</sup>.

En estos territorios las canteras más habituales eran las denominadas canteras a cielo abierto. El primer paso era eliminar la capa vegetal y de piedra degradada; a continuación, se procedía a preparar la forma de su extracción; si se trataba de piedra blanda (tobas) se podían utilizar sierras dentadas, obteniéndose de este modo cortes muy limpios. Si, por el contrario, eran rocas más compactas o duras (calizas) se empleaban cuñas de hierro o madera que se insertaban en grietas (naturales o artificiales) entre los bloques. En ocasiones se tallaban todas sus caras a excepción de la inferior, que se acuña. Para desprender el sillar, si las cuñas eran de hierro se solía apalancar con una palanca también de hierro; si las cuñas eran de madera se empapaban en agua y con la presión del hinchamiento se provocaba una fractura plana que desgajaba el bloque de piedra (Adam 1996, 31).

---

<sup>175</sup> R. CEBRIÁN y I. ESCRIVÀ (2001). “La piedra de Buixacarró en las obras públicas de Valentia”, *Saguntum (P.L.AV.)*, 33, pp. 97-110. Valencia: Universitat de València.

<sup>176</sup> J. M. PUCHE FONTILLES (2010). “Los procesos constructivos de la arquitectura clásica. De la proyección a la ejecución. El caso del Concilium Provinciae Hispaniae Citerioris of Tarraco”, *Arqueología de la Arquitectura*, 7, pp. 13-41.



Ilustración 170. Proceso de extracción de sillares en cantera a cielo abierto (Adam 1996, 31).

Una vez extraídos los sillares, terminaban de darles forma con la ayuda de un pico o cinceles para convertirlos en sillares perfectamente escuadrados o en dovelas para arcos. Del trabajo en la cantera se encargaba el *lapidarius* o cantero (tallaba la piedra una vez extraída) y el *marmorarius*, obrero especializado en decoración ornamental, talla de pedestales, columnas o molduras. Las herramientas utilizadas eran muy diversas, en función del tipo de piedra; para dar forma a los bloques empleaban *asciae* o hachas y la *upupa*, *alcotana* (uno de sus filos tiene forma de hacha mientras que el opuesto es una azuela). La *serrula* o sierra era utilizada para cortar piedras; el *scalprum* o escoplo se empleaba cuando la roca era dura, mientras que el *malleus* o maza de hierro era servía para introducir las cuñas de hierro y madera.

Las termas de Mura debieron dar imagen de gran solidez, ya que su estructura portante fue realizada con muros de fábrica de sillares de piedra caliza perfectamente labrados dispuestos en *opus quadratum*, por lo que el material pétreo se convierte en uno de los más importantes del edificio.

Los elementos pétreos más utilizados en los paramentos y grandes elementos decorativos (cornisas, pilastras, columnas, etc.) son piedras calizas de origen local, la denominada popularmente “pedra llíria”, más dura, y una piedra tosca similar a la toba conocida en la localidad como “pedra de caragolet”. Hasta la presente investigación se pensaba que ambas piedras pertenecían a la misma familia o se habían formado de una forma parecida, pero los estudios analíticos encargados al Instituto de Restauración de la UPV determinan todo el contrario. De las conclusiones del análisis firmado por las investigadoras Laura Osete y M<sup>a</sup> Teresa Doménech (incluidas en el anexo de esta tesis), describen el tipo y origen de los dos tipos de piedra:

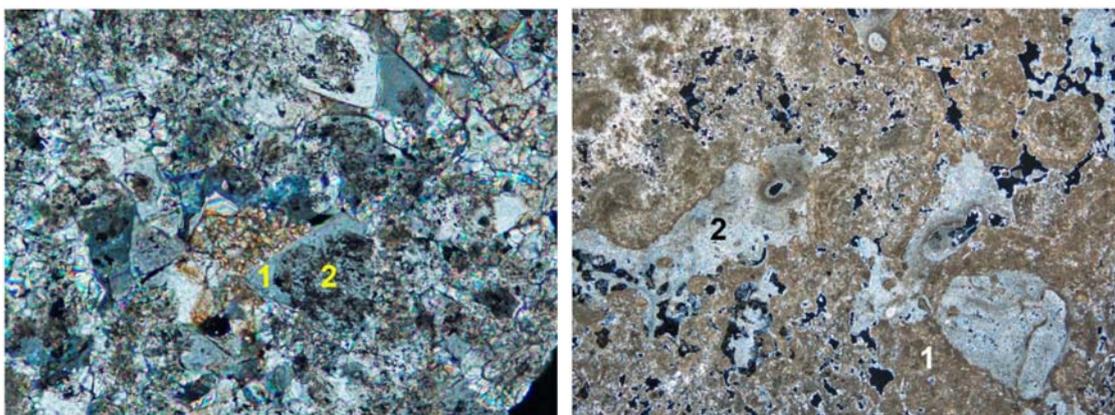
### Piedra de Liria:

[...] caliza cristalina de color beige a anaranjado, bastante compacta, muy recristalizada y cuya textura deposicional original ha sido eliminada por diferentes fenómenos diagenéticos. Se trata de una roca que, a nivel general, ha sufrido un proceso de dolomitización y uno posterior de dedolomitización, que ha provocado que toda la roca sea de naturaleza calcítica [...].

### Piedra de caragolet:

[...] biolilita con una textura deposicional orgánica perfectamente reconocible por la presencia de oncolitos y estructuras algales, entre una matriz fundamentalmente micrítica. Se reconocen secciones de gasterópodos y otros fragmentos de conchas de moluscos [...].

En cuanto a la procedencia de las rocas y la posible relación entre ambas, hay que destacar que la muestra 1 (caliza cristalina) es muy probable que se encuadre dentro de una formación de edad Cretácico Superior (Cenomaniense medio a Coniaciense) que según el mapa geológico a escala 1:50.000 nº 695 (Liria), incluiría dolomías sacaroideas, dolomías brechoides, calizas recristalizadas y niveles de margas. Esta formación, que aflora en el propio Liria, incluye calizas cristalinas con similares características a la muestra considerada. La muestra 2 no presenta características que parezcan asimilables a las de la muestra 1, ni en la textura ni en las transformaciones diagenéticas. En definitiva, no creemos que esta muestra se encuadre dentro de la formación cretácica anterior. Las únicas rocas que aparecen en esa formación de naturaleza margosa se describen en el mapa geológico como margas verdosas con yesos y fauna de ostrácodos y foraminíferos: estas características no son desde luego las que presentan la muestra 2. Entendemos que estas rocas podrían relacionarse más bien con las formaciones de edad Mioceno (Calizas de los Páramos) que afloran en los alrededores de Liria y que se describen como calizas con tubos de algas y moluscos [...].



Ilustraciones 171 y 172. Imagen microscópica de los dos tipos de piedra extraída de las pruebas analíticas realizadas en el marco de esta tesis.

También es frecuente el uso de la piedra caliza de color gris oscuro o azulada de las canteras de Alcublas, muy parecida a simple vista a la caliza dolomítica procedente de la cantera del cerro de Dos de Mayo de Sagunto (Mayer y Rodá 1991, 38)<sup>177</sup>. Estas piedras calizas se suelen utilizar fundamentalmente como material de construcción visto. Por ello es frecuente su empleo en pilastras acanaladas, cornisas, molduras, arquivadas, etc., así como de soporte epigráfico. Los materiales pétreos más utilizados a nivel ornamental son las calizas de color rosa o beige extraídas de las canteras cercanas a Saetabis (actual Xàtiva) y conocidas popularmente como “màrbre de buixarró”, que se utilizaba normalmente como aplacados de paramento.

Lo más habitual en la mayoría de las grandes construcciones romanas es utilizar los materiales pétreos procedentes de canteras sitas en el entorno inmediato. En el caso de Edeta se ha podido identificar las canteras de extracción de los grandes sillares de caliza blanda (toba), utilizada en los muros del edificio. Estas canteras se han situado en las propias termas y en su entorno inmediato y en las canteras del sector este de la ciudad. Se ha identificado la cantera que proporcionaba la piedra caliza dura de tonalidad azulada para umbrales, escalones, pilastras, a escasos 15 km de distancia, en la localidad de Alcublas. Por último, se ha localizado también la cantera que proporcionaba la mayor parte de los revestimientos parietales, *crustae marmorea*, de las salas termales, a una mayor distancia, cerca de la ciudad de Saetabis, a unos 90 km. La presencia de mármol de importación, caso de mármoles blancos de Hipona, Carrara, Macael, etc., es minoritaria.

Las canteras estudiadas en el sector este de la ciudad datan de principios del siglo I d. C. Y, aunque se han desmantelado en su totalidad, el estrato que se ha documentado es el relleno resultante del expolio de las construcciones alto-imperiales existentes sobre la cantera y de las que se ha podido tener constancia por la pervivencia de las construcciones urbanas excavadas en el subsuelo, como el posible *castellum aquae* excavado directamente en la roca o la construcción de la habitación con *hypocaustis* de la *Domus II*, construcciones ambas que aprovechan los cortes de la cantera. Los frentes de extracción son diversos, aunque en la mayoría de los casos solo han llegado las marcas realizadas durante esta fase, permitiendo comprobar, por un lado, el método de arranque, y por otro, intentar ver si se repite la métrica en las distintas extracciones para obtener un módulo que permita realizar dataciones aproximadas.

---

<sup>177</sup> M. MAYER y I. RODÁ (1991). “El comercio del mármol en el Mediterráneo y su reflejo en la sociedad romana de Sagunt”, en *Saguntum y el mar*, p. 37-45. Valencia.



Ilustración 173. Detalle de un frente de cantera sobre el que se asienta en época imperial el *hypocaustum* de una vivienda.



Ilustración 174. Plano de situación de los diversos frentes de cantera localizados en las canteras del este (Vidal 2008).

Por ejemplo, en el frente de cantera situado entre las termas mayores y las *Domus* I y II de Mura, se ha podido medir que las improntas de extracción tienen unas dimensiones de  $2 \times 1 \times 1$  pies, es decir entre 66 y 60 cm de longitud, una anchura que oscila entre los de 36-40 cm y un grosor de 36 y 40 cm en los sillares que quedan por extraer, por lo que una vez desbastados y labrados podrían disminuir unos 5 cm por cara.



Ilustración 175. Cantera a cielo abierto documentada en el sector este de la ciudad romana con sillares de modulo medio.

En el otro frente de cantera en el que posteriormente se asienta la *Domus* III, se pueden observar dos grandes sillares preparados para su extracción, además de las improntas de otros ya extraídos. Estos sillares tienen un módulo similar al que tienen las dovelas de las termas,  $6 \times 3$  pies respectivamente, es decir, 180 cm de soga por 60 cm de tizón.



Ilustración 176. Cantera a cielo abierto documentada en el sector este de la ciudad romana con sillares de gran modulo.

Como se podrá entrever, la tipología formal de los sillares de piedra caliza local es muy extensa y variada, por lo que excede las investigaciones relacionadas en esta tesis. En estos momentos se está desarrollando un trabajo final de máster, que probablemente se ampliará también como tesis doctoral, específicamente dedicado a los materiales y sistemas constructivos empleados en el santuario y las termas dobles de Mura. Por ello, en este apartado se describen sucintamente los materiales pétreos de caliza local que mantienen una relación directa con los sistemas de producción del calor que permiten el buen funcionamiento y un óptimo rendimiento térmico de las termas mayores de Lliria.

### Piedra de Lliria

El paramento norte de la *cella fornacarii* está construido en *opus quadratum*, con materiales pétreos calizos locales de varios módulos. En este paramento se puede observar cómo las tres primeras hiladas del muro se construyen con sillares de piedra caliza local con un formato de 60 cm de soga, 30 cm de tizón y 30 cm de espesor, ligadas con *opus caementicium* en su alma. La tercera hilada mantiene en los extremos las calizas anteriores, pero las alterna en el centro con sillares de caliza local más blanda (toba), con un formato de mayor tamaño (90 cm de soga, 60 cm de tizón y 40 cm de espesor) trabando ambas en cremallera. Por último, la cuarta hilada ya está constituida exclusivamente por los grandes sillares de piedra toba (alternan entre 1,40 m y 1,60 m de soga, 60 cm de tizón y 60 cm de espesor) dispuestos a hueso, sin apenas mortero que una la traba, y que, a una cota de 1,20 m sobre pavimento de las salas, unifican el sistema constructivo de todo el establecimiento termal.



Ilustración 177. Paramento de la *cella fornacarii*.

El muro oeste de la *cella fornacarii* enmarca el *prae-furnium* mediante un arco de dovelas colocadas a hueso de piedra toba, posiblemente porque al ser más blanda se puede labrar más fácilmente y, al mismo tiempo, proporciona mejores prestaciones respecto a los cambios térmicos que una caliza más compacta y con vetas. Para los riñones del arco se usaron calizas locales de formato menor y de mayor dureza.



Ilustración 178. Arco de piedra del *prae-furnium* del *caldarium*.

El muro sur de la *cella fornacarii* presenta la misma solución que en el caso anterior. Utiliza como material constructivo las dovelas de piedra toba trabadas sin apenas mortero. En este paramento se puede observar cómo el sillar que corona el arco está biselado por los extremos creando un dintel que ayudaría a repartir las cargas y tensiones de la estructura portante de esta sala. Las cuatro primeras hiladas del muro emplean las piedras calizas de formato medio (60 cm de soga, 30 cm de tizón y 30 cm de espesor) que acaban acodalando el arco que conforma el vano de transición del horno al *hypocaustum* del *tepidarium*. A este muro portante se le adosa la estructura de cierre del horno, realizada toda ella de sillares de caliza local (toba), con un formato de 90 cm de soga, 60 cm de tizón y 40 cm de espesor, dispuestos a soga y trabados con un mortero de cal de 5 cm de espesor.

El paramento este de la *cella fornacarii* está construido en *opus quadratum*, con materiales pétreos calizos locales de varios módulos. En este paramento se puede observar cómo las cinco primeras hiladas del muro se construyen con sillares de piedra caliza local con un formato de 60 cm de soga, 30 cm de tizón y 30 cm de espesor, trabadas con *opus caementicium* en su alma. La hilada sexta ya está constituida exclusivamente por los grandes sillares de piedra toba (alternan entre 1,40 m y 1,60 m de soga, 60 cm de tizón y 60 cm de espesor) dispuestos a tizón y trabados a hueso, sin apenas mortero que los una a una cota de 1,20 m sobre pavimento de las salas. Con estas descripciones se concluye que el sistema constructivo de todo el establecimiento termal se unifica con este tipo de material pétreo procedente de las inmediaciones del emplazamiento del complejo.



Ilustración 179. Arco de piedra del *prae-furnium* del *tepidarium*.



Ilustración 180. Paramento este de la *cella fornacarii*.

## La piedra caliza de Alcublas

La piedra de Alcublas se forma en bancos sedimentarios de roca caliza lacustre que forman estratos horizontales. Su antigüedad se remonta al periodo Jurásico (200-145 millones de años) Las manchas de color ocre que aparecen a veces están constituidas por óxidos de hierro. Las finas líneas blancas sobre las rocas son de calcita, un mineral muy común formado por cristales de carbonato de calcio. Las calizas lacustres son rocas de grano muy fino que tienen su origen en antiguos barros calcáreos, el carbonato de calcio de los cuales provenía en gran parte de algas carofíceas, de los caparzones de pequeños crustáceos ostrácodos y de caracoles. Las rocas son de un color gris oscuro con un tono azulado, los colores pueden ser más o menos oscuros según la cantidad de materia orgánica que contienen. La disposición y dimensión de los estratos facilitaba su extracción, y el tamaño de los sillares la convertía en una roca ideal para trabajar en las épocas preindustriales. Por su dureza, relativamente blanda (3 en la escala de Mohs), es una roca fácil de trabajar, al mismo tiempo que tienen muy poca porosidad y son muy resistentes al paso del tiempo, lo que tradicionalmente las ha hecho idóneas para la construcción, especialmente para la fabricación de pavimentos o peldaños de escaleras (Alcaide, Civera y Soler 2009, 12)<sup>178</sup>.

La conocida como “pedra d’Alcubles” se extraía de las canteras conocidas como “La Pedrera” situadas en el término municipal de Alcublas, a unos 20 km de la ciudad de Edeta. Hoy en día se puede observar los frentes de una cantera, ya abandonada, de piedra caliza de color gris oscuro o azulado con abundantes vetas de cuarzo blanco, que provocan la exfoliación natural de la piedra en láminas de unos 30 cm de espesor. Precisamente estas vetas de cuarzo blanco son las que dificultan el trabajo de los *lapidarius* y *marmomorarius*, y fuese uno de los motivos por los que paulatinamente fue disminuyendo su uso. No obstante, estos bloques calizos están presentes en la mayoría de las construcciones privadas que forman parte del programa de urbanización y monumentalización de la ciudad de Edeta durante el siglo I d. C., sobre todo en aquellas partes vistas de los edificios, en su decoración arquitectónica y en una gran parte de los soportes epigráficos. Sirva de ejemplo los mausoleos de la calle San Vicente y los mausoleos de la Vía de las Termas.

En las termas, sin embargo, este material aparece asociado a su uso como material de paso en la mayoría de los umbrales, hecho que le confiere unidad a todo el conjunto termal. También se ha utilizado en la concha del *labrum* que se situaría en el *laconicum* del *caldarium*. Por último, cabe señalar que, en el interior del recinto termal, acotando la

---

<sup>178</sup> J. L. ALCAIDE, M. D. CIVERA y A. SOLER (2009). *La piedra de Alcublas: aplicación en patrimonio histórico y en la arquitectura vernacular local* (Alcublas Escribe). Alcublas: Ayuntamiento de Alcublas.

entrada a la *basilica thermarum*, se localiza un muro en *opus quadratum*, hecho con piedra de Alcublas, único en todo el conjunto termal, posiblemente por reaprovechar sillares del mausoleo de época anterior desmontado parcialmente cuando este queda embebido con la construcción del conjunto termal. Cabe destacar la particularidad que presenta uno de los sillares en el que se puede leer una inscripción funeraria.

Se han identificado dos tipos de umbrales, los que se localizan en los accesos a las salas termales o de interior, y el ubicado en el exterior en la *basilica thermarum*. En ambos casos se trata de sillares de 60 cm de largo por 40 cm de ancho y espesor de 30 cm en los que no se aprecian más rebajes que el de haber padecido un fuerte tránsito.



Ilustración 181. Umbral de acceso desde el *frigidarium* a la *cella fornacarii*.

En el exterior de las termas mayores se ha localizado, en una de las tabernas próximas a la *basilica thermarum*, un umbral de piedra caliza con un rebaje que oscila entre los 0,3 y 0,5 cm, para insertar el cierre de la misma con tablas. De este umbral se conserva un fragmento con una longitud de 0,90 m, una anchura de 0,40 m y un espesor de 0,20 m.



Ilustración 182. Umbral de la *tabernae* de la *basilica thermarum* de las termas mayores.

Las otras piezas en sillería caliza de tonalidad azulada o gris oscura se han identificado en las salas calefactadas, *tepidarium* y *caldarium*, y están destinadas al mismo uso, ser el basamento de la barandilla o plúteos de los *alveus* que se ubican en las cabeceras de estas piscinas de agua caliente. Los escalones de acceso al *alveus* también son sillares de piedra azul. Por tanto, estos sillares de caliza más dura se vuelven a utilizar para elementos sometidos a ser pisados y por tanto objeto de un fuerte desgaste.

Los sillares del basamento del *pluteus* tienen unas dimensiones de 1,20 m de longitud, 0,40 m de anchura y 0,21 m de espesor. Los sillares de los escalones tienen unas dimensiones de 1,20 m de longitud, 0,36 m de anchura y 0,21 m de espesor. La huella que se genera es de 24 cm.

### Piedra caliza de Buixacarró

La cantera de donde se extraían estas piedras coloreadas de Saetabis se sitúa en la Serra Grossa, en las canteras de Buixacarró, a unos 10 km de la actual Xàtiva, la explotación continua en activo, por lo que resulta muy difícil reconocer los antiguos frentes de cantera (Cebrián y Escrivà 2001, 97)<sup>179</sup>.

---

<sup>179</sup> R. CEBRIÁN y I. ESCRIVÀ (2001). "La piedra de Buixacarró en las obras públicas de Valentia", *Sagvntvm (P.L.AV.)*, 33, pp. 97-110. Universitat de València.

El buixcarró presenta cuatro tonalidades distintas, diferenciadas según el color. El llamado crema Buixcarró (de una tonalidad beige-blanquecina y sin ninguna veta) se emplea exclusivamente en basas y capiteles a partir de mediados del siglo II. De esta modalidad en Lliria no se ha observado ningún elemento. En cambio, el resto de variedades de gamas más rosadas o amarillentas son las utilizadas en Lliria, en este caso como las placas de revestimiento o *crustae marmorea* y molduras de pequeño formato en ventanas, alféizares, o pequeños relieves con decoración escultórica.

En general, se han observado dos tipos de elementos que sirven de modelo para definir la mayoría de las piezas de buixcarró recuperadas en las termas mayores de Mura: las molduras y las placas de recubrimiento parietal.

En cuanto a las molduras, se han encontrado fragmentos en todas las salas del establecimiento termal. Estos restos presentan en general un doble bocel, separado por un filete. En la parte trasera trabajada, pulida pero lisa, se pueden observar perforaciones de 0,5 cm de diámetro y una profundidad que oscila en torno a los 0,5 a 0,8 cm para facilitar su sujeción al elemento al que se ancla. Un ejemplo representativo lo muestra el fragmento de placa arquitectónica moldurada de mármol, con unas dimensiones de 7,4 cm de alto; 37,5 cm de ancho y 8 cm de grosor. Conserva una perforación en la parte posterior que sería para sujetar la pieza a su soporte. Se desconoce la posición exacta que ocupaba, aunque probablemente formaría parte del enmarcado de algún vano u hornacina del *caldarium* de las termas mayores.



Ilustración 183. Moldura de piedra de Buixcarró.

Por lo que respecta a las placas parietales se han encontrado piezas en todas las salas de las termas, desde la *basilica thermarum* al *caldarium*. Todas estas piezas están muy fragmentadas y formaban parte del relleno del siglo VI-VII d. C. que amortizaba el conjunto termal. Las placas más numerosas son las parietales lisas, sin decoración, como las encontradas en el *caldarium* de las termas mayores. La pieza con unas dimensiones de 14 cm de alto, 20 cm de ancho y un grosor de 3 cm está trabajada solo por una cara, donde aparecen representadas en bajorrelieve una serie de ondas. Se desconoce el lugar

en el que se encontraba colocada, aunque parece que podría formar parte de la decoración de un zócalo del *caldarium*.



Ilustración 184. Piezas parietales de piedra de Buixarró.

Otro de los ejemplos lo constituye el fragmento de placa decorativa de mármol que pertenecería a la decoración de las jambas de una puerta. La pieza está trabajada por una de las caras y presenta un motivo de hojas de caduceo.



Ilustración 185. Pieza parietal moldurada de piedra de Buixarró.

Para completar el estudio de los materiales pétreos se calculó las densidades de tres piedras utilizadas en la construcción de las termas, obteniendo los valores de compacidad y de absorción que a continuación se describen. Las piedras analizadas fueron las dos calizas con localización en el termino de Lliria (piedra denominada “de *caragolet*” y una caliza compacta) y la piedra de Alcublas.

Se realizaron tres ensayos en el laboratorio del departamento de Construcciones arquitectónicas y se conto con la ayuda del técnico de laboratorio D. Rafael Molina. El primero mediante balanza hidrostática para calcular la densidad aparente y posteriormente el ensayo mediante voluménómetros y picnómetro para la densidad real.

	DENSIDAD APARENTE			COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (%)		
	Caragolet	Caliza	Alcublas	Caragolet	Caliza	Alcublas
Peso Seco (g)	1.207,00	2.181,00	2.694,90			
Peso Saturado (g)	1.534,20	2.185,60	2.696,70	<b>0,271</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>
Peso Saturado Sumergido (g)	558,50	1.335,00	1.749,90			
<b>Dens. Aparente (g/cm3)</b>	<b>1,24</b>	<b>2,56</b>	<b>2,85</b>			
	DENSIDAD REAL (Método del Picnómetro)			COMPACIDAD (%)		
	Caragolet	Caliza		Caragolet	Caliza	
Peso Seco (g)	10,10	10,00				
Peso Picnómetro+agua (g)	94,40	102,00		<b>0,49</b>	<b>0,97</b>	
Peso Picnómetro+agua+muestra (g)	100,50	108,20				
<b>Dens. Real (g/cm3)</b>	<b>2,53</b>	<b>2,63</b>				
	DENSIDAD REAL (Método del Volumenómetro)					
	Caragolet	Caliza				
Peso Seco (g)	50,00	50,10				
Volumen inicial (ml)	-	-				
Volumen final (ml)	19,75	18,90				
<b>Dens. Real (g/cm3)</b>	<b>2,53</b>	<b>2,65</b>				



Ilustración 186, 187 y 188. Peso en seco de las tres muestras.



Ilustración 189 y 190. Balanza hidroestática, picnómetro y volumenómetro.

Las conclusiones a estos ensayos determinan la gran diferencia de densidades que existe entre las dos piedras locales, obteniéndose valores de la densidad aparente en torno a un 50% menor en el caso de la piedra de *Caragolet*.

Los valores de compacidad y absorción de agua también determinan que las piedras compactas tienen unos valores muy similares, determinando una posible funcionalidad muy marcada que se podrá apreciar en el ensayo térmico.

### 2.3.5. Estabilidad estructural

No es el objeto de esta tesis el análisis estructural de los edificios de las termas de Mura, pero se ha decidido incluir un apartado que introduzca una aproximación útil para investigaciones futuras.

Las necesidades de estudio a nivel estructural de los edificios termales mantienen un elemento muy característico y que no es conocido en todas las investigaciones e hipótesis realizadas. Según los modelos arquitectónicos realizados por Julián Esteban y Elisa Moliner a partir de los datos extraídos en las últimas intervenciones, se ha podido elaborar una propuesta constructiva que estipula cómo debería de ser el complejo termal, con los detalles característicos que a nivel arqueológico se han podido documentar y analizar.

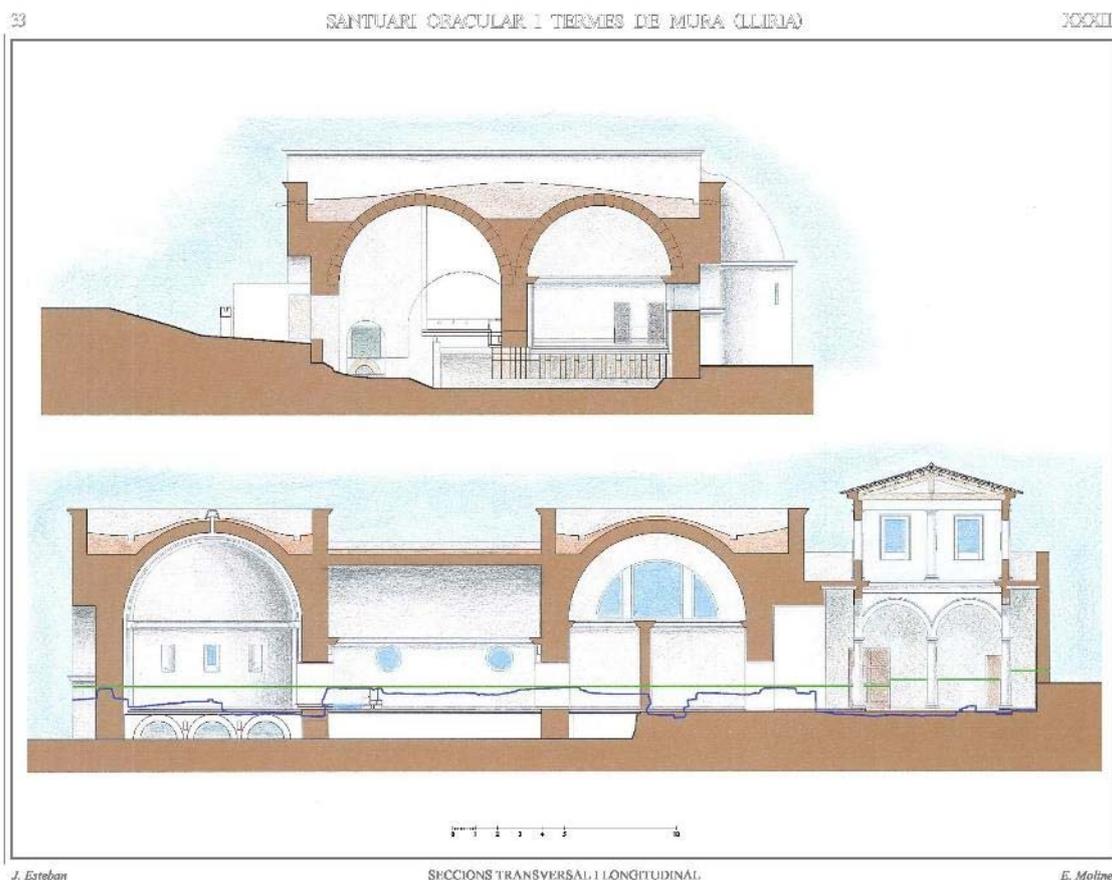


Ilustración 191. Sección transversal y longitudinal del complejo termal de las termas de Mura. (Autores: J. Esteban y E. Moliner).

En este apartado se ha estudiado el comportamiento estructural de la bóveda del *caldarium*. Es un elemento muy singular que, por su forma y por su resolución constructiva, permite un análisis para alcanzar las conclusiones necesarias a los modelos planteados en el cálculo estructural para determinar qué tipo de cubierta tenía el edificio.



Ilustración 192. Sección y alzado de la sala del *caldarium* (también denominada *sudatio*). (Autores: J. Esteban y E. Moliner).

Para analizar este comportamiento estructural de este elemento constructivo se ha contado con la colaboración del profesor Adolfo Alonso, del Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la UPV.

Se ha generado el modelo de la bóveda del *caldarium* a partir de los datos existentes mediante la utilización de dos programas:

1. BOVEDAS3D. Permite el estudio de la mecánica de equilibrio por estática gráfica.
2. ANGLE. Permite el estudio del comportamiento mediante análisis numérico por el método de elementos finitos.

Las características de cálculo se basan en las densidades de las piedras analizadas mediante los ensayos correspondientes y cuyos valores se explican en el apartado anterior.

Los resultados obtenidos demuestran básicamente los siguientes comportamientos mediante la aplicación de los modelos basados en la estática gráfica.

#### Caso 1. Bóveda sobre muros

La bóveda sin muro perimetral y sin relleno de los senos no es estable por su propio peso. El empuje de la bóveda está en el límite del equilibrio para el espesor del muro que la soporta, lo que la puede calificar como una bóveda con poca seguridad estructural.

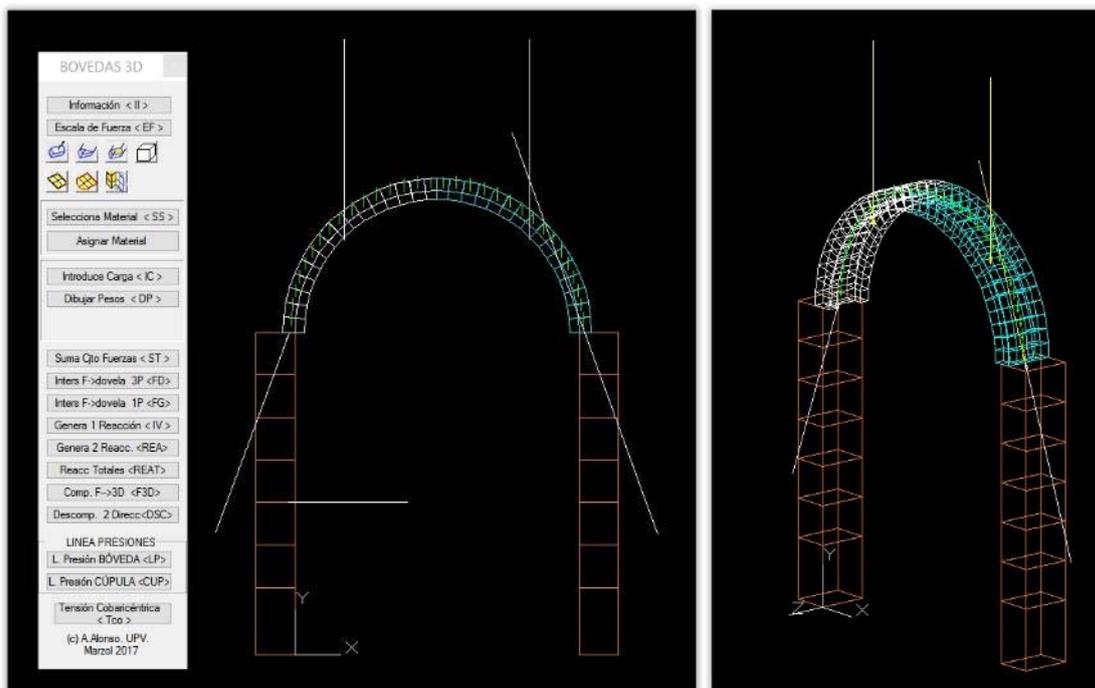


Ilustración 193. Análisis del modelo con la bóveda apoyada en el muro.

## Caso 2. Bóveda sobre muro prolongando el muro perimetral

La colocación de un peso sobre el muro estabiliza el empuje de la bóveda manteniéndolo en el límite de apoyo del muro.

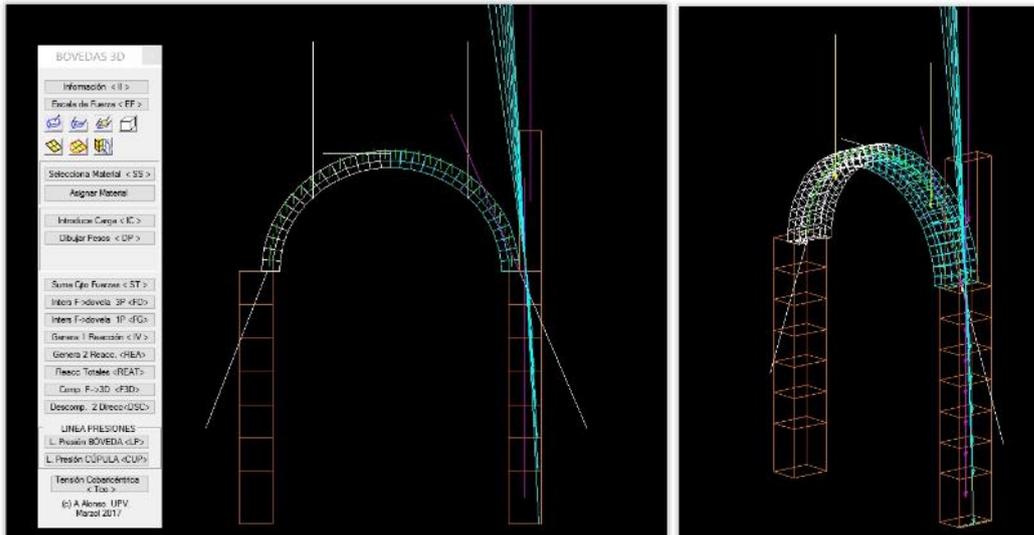


Ilustración 194. Análisis del modelo con la bóveda apoyada en el muro y con el muro estabilizador.

## Caso 3. Bóveda sobre muro prolongando el muro perimetral y relleno del seno

El colocar el muro y el relleno de los senos estabiliza con un mejor grado de seguridad el empuje, dejándolo dentro de la sección resistente del muro.

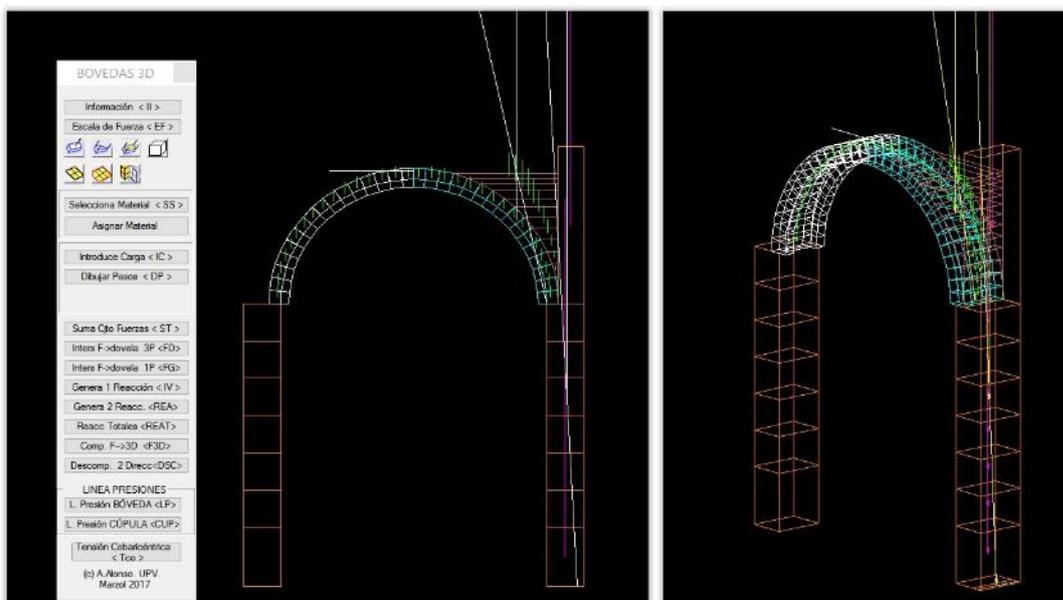


Ilustración 195. Análisis del modelo con la bóveda apoyada en el muro, con el muro estabilizador y el relleno de los senos.

Por tanto, se puede concluir que al incorporar un peso sobre el muro y el relleno en los senos se estabiliza la distribución de los esfuerzos, verticalizando el empuje y consiguiendo centrar la resultante de las cargas con un aumento de los coeficientes que aportan una mayor seguridad estructural (Martínez y Alonso 2003, 162-171)<sup>180</sup>.

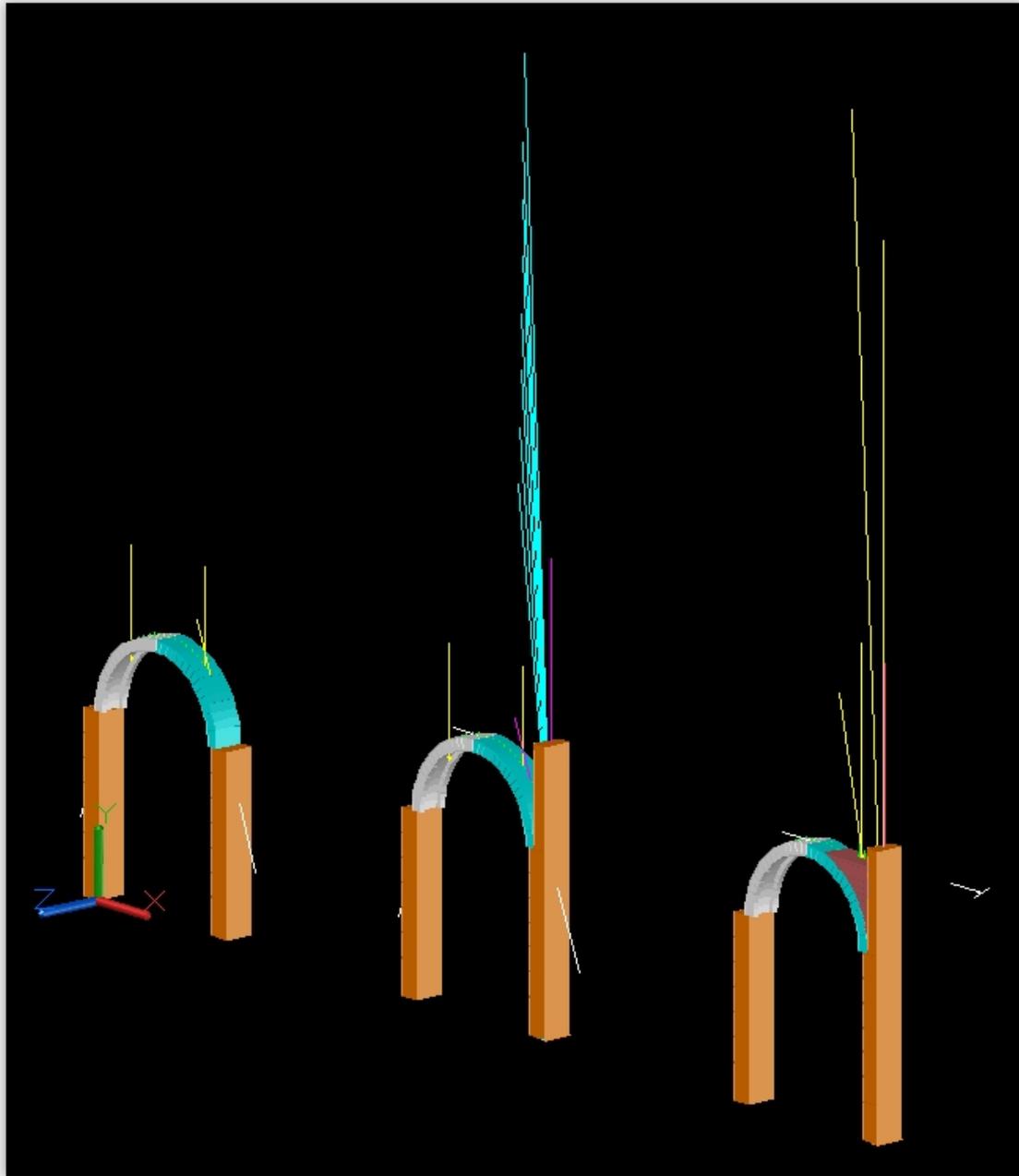


Ilustración 196. Esquema de los tres modelos analizados.

<sup>180</sup> A. MARTÍNEZ BOQUERA y A. ALONSO DURÁ (2003). “Técnicas de diagnóstico estructural en construcciones históricas. Análisis de la cúpula de San Miguel de los Reyes”, *LOGGIA*, 14-15, pp. 162-171.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el procesado y cálculo con el programa ANGLE basado en el cálculo de los elementos finitos (Llopis *et al.* 2017)<sup>181</sup>. El programa tiene una versatilidad total que permite calcular todo aquello que se pueda dibujar mediante otros programas de dibujo, como el AUTOCAD. Este programa se desarrolla en dos módulos, uno primero que se implementa sobre un programa de CAD, con menús y órdenes propias del programa, en el que se diseña el modelo de cálculo. El segundo es el propio programa ANGLE en el que se ejecuta el propio cálculo, análisis de solicitaciones y dimensionado, así como la salida de datos.

Una vez introducidos los datos en el programa y realizados los cálculos, se demuestran básicamente las siguientes conclusiones:

- i. La bóveda sin muro y sin relleno no es estable ya que colapsa a menos de la mitad de consideración de la carga del peso propio, desestabilizando la bóveda.

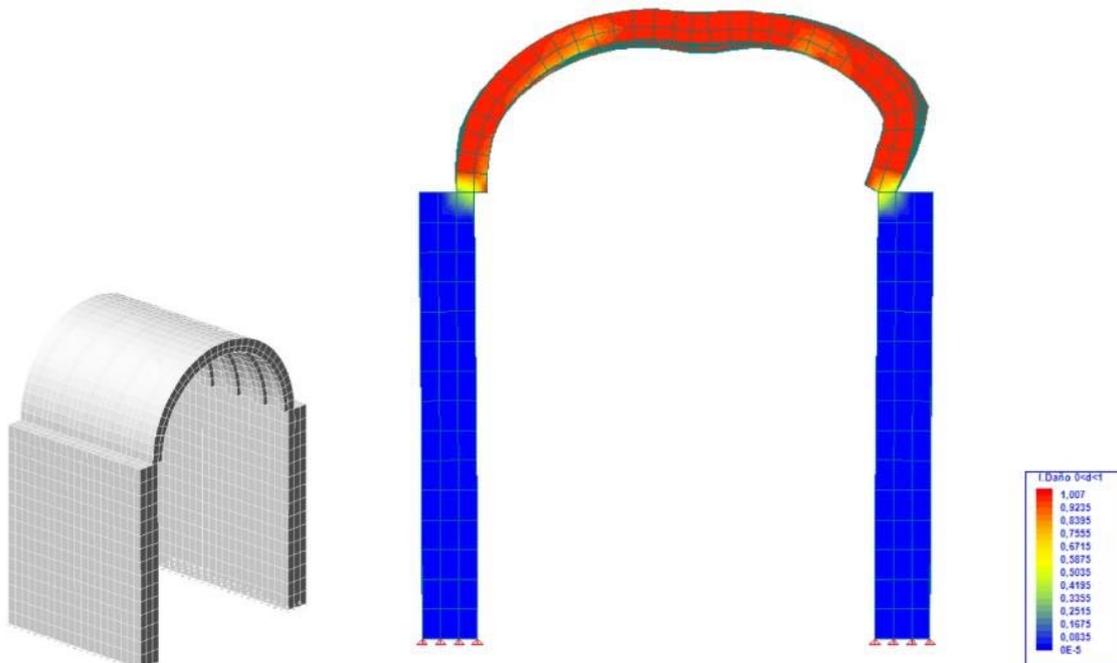


Ilustración 197 Modelo y resultado obtenido en el caso de considerar únicamente la bóveda.

<sup>181</sup> V. LLOPIS PULIDO, A. ALONSO DURÁ, A. MARTÍNEZ BOQUERA y E. FENOLLOSA FORNER (2017). "Analysis of the structural behaviour of the Historical constructions: seismic evaluation of the Cathedral of valencia (Spain)", en *3rd International Conference on Protection of Historical Constructions. Lisbon, Portugal, 12 – 15 July, 2017.*

- ii. La bóveda con el muro perimetral es estable con un coeficiente de seguridad de 1,4 veces su peso propio (1,4 G), bastante ajustado a un equilibrio con cierto grado de seguridad estructural.

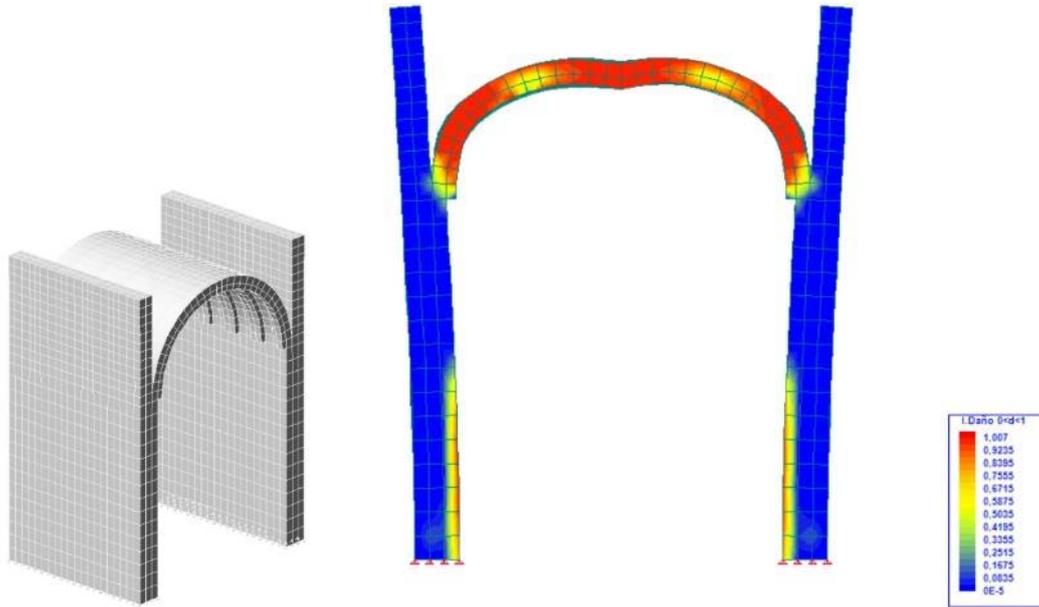


Ilustración 198. Modelo y resultado obtenido en el caso de considerar la bóveda y el muro estabilizante.

- iii. La bóveda con el muro perimetral y el relleno de los senos es mucho más estable pudiendo llegar a soportar cuatro veces su peso propio (4 G)

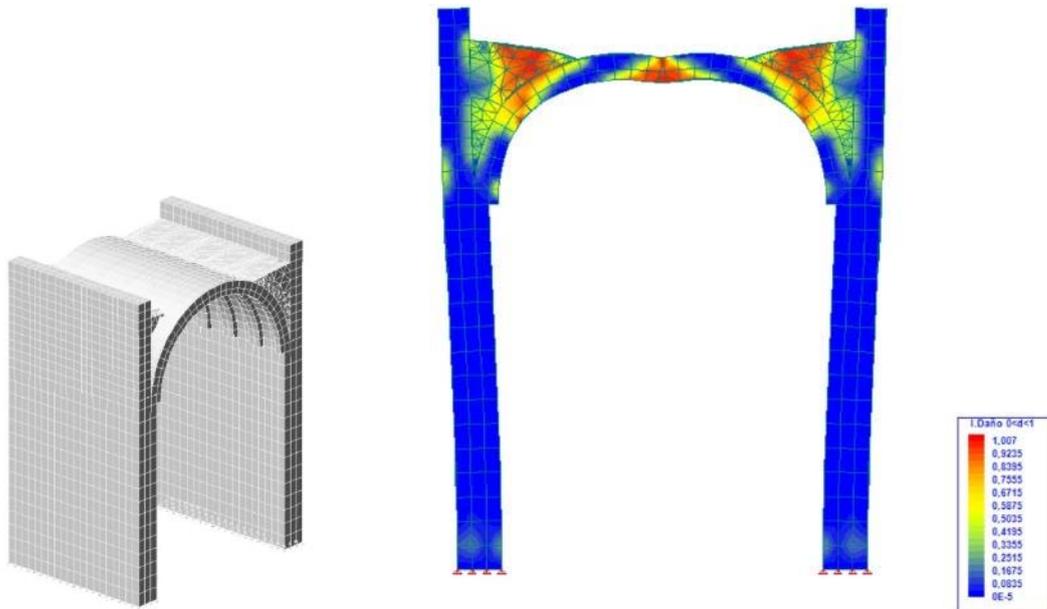


Ilustración 199. Modelo y resultado obtenido en el caso de considerar la bóveda, el muro estabilizante y el relleno de los senos.

La conclusión al estudio básico llevado a cabo para averiguar la situación más estable de la bóveda del *caldarium* nos demuestra que la situación más estable y por tanto más segura corresponde a la bóveda con los muros perimetrales y el relleno de los senos, ya que permite aumentar hasta cuatro veces el peso propio antes de colapsar.

Es evidente que no es asumible el aumento de cuatro veces el peso propio, tan solo es una medida ponderal para comparar hasta qué punto aumenta el grado de seguridad, es decir, que para colapsar la estructura necesitaría pesar cuatro veces más su peso propio.

### 3. EL SISTEMA HÍDRICO

[...] pero si alguien calculara cuidadosamente la cantidad de agua de los suministros públicos, baños, depósitos, casas, zanjas, jardines, y villas suburbanas; y por la distancia que deben atravesar, los arcos contruidos, las montañas perforadas, los valles nivelados; tendremos que confesar que nunca ha habido nada más maravilloso en todo el mundo [...].

Plinio el Viejo (XXXVI, 15)<sup>182</sup>

Este capítulo pretende profundizar en el conocimiento de las infraestructuras de suministro y evacuación hídrica de las termas romanas de Mura. Al efecto, se estudiará en primer lugar la organización y el funcionamiento genérico de los sistemas de captación, abastecimiento y evacuación de las ciudades romanas para posteriormente aplicarlo al caso particular de la ciudad de Edeta y al complejo termal de Mura.

Hablar del sistema hídrico de una ciudad romana implica poner el foco sobre uno de los avances técnicos más trascendentes de la humanidad. La ingeniería hidráulica romana aportó dos grandes avances tecnológicos al desarrollo humano: el sistema de captación y abastecimiento y el sistema de evacuación de agua de las ciudades romanas.

Los romanos, por su gran ingenio y pragmatismo, fueron capaces de adaptar sistemas y conocimientos tecnológicos de otras culturas coetáneas aportando nuevas soluciones para todos los problemas hidráulicos a los que se enfrentaron. Como resultado de lo anterior, inventaron y desarrollaron todas las complejas soluciones que se enmarcan dentro de los términos *aquaeductus* y *cloacas*.

El vocablo *aquaeductus* significa literalmente “conducción de agua”. Su acepción abarca todo el sistema de conducción que garantiza el aporte hídrico, desde el punto de captación hasta el usuario final. Su desarrollo fue fundamental para la evolución de las ciudades romanas, determinando una de las construcciones tecnológicas más conocidas y admiradas.

Las *cloacas* conforman el sistema de evacuación que canaliza tanto las aguas residuales como las aguas sobrantes del suministro continuo. Es una infraestructura esencial para la higiene y la salubridad de las ciudades. Sin ellas, las aguas estancadas y residuales acabarían por convertirse en un foco patógeno incompatible con la vida.

---

<sup>182</sup> PLINIO EL VIEJO (2001). *Historia Natural*. Gredos.



Ilustración 200. Grabado nº CXVI, de Alexandre de Laborde, del acueducto de Peña Cortada en Chelva. *Voyage pittoresque et historique de l'Espagne* (vol. II, *Description du Royaume de Valence*). París, 1806. Archivo digital Biblioteca Nacional de España. - CXIX). (Consulta: 05/2017: <http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000012583&page=1>).

### 3.1. ESTRUCTURA DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

El abastecimiento de aguas a las poblaciones romanas era una necesidad política y sanitaria. Era inexcusable para el mantenimiento de su modo de vida, y se resolvía desde el mismo inicio del trazado urbano, antes que muchas otras obras públicas. La posibilidad técnica del abastecimiento y distribución de agua potable condicionaba el lugar de establecimiento de las ciudades, incluso la posición exacta del núcleo urbano. Para los gobernantes romanos el abastecimiento se convirtió en una prioridad, como servicio esencial fue cuidadosamente procurado, legislado y administrado. Tal era la importancia del recurso, que las canalizaciones tenían protección legal y física a lo largo de una amplia franja en forma de zona de policía, se correspondían con el trazado de la conducción, se colocaban balizamientos en la superficie para su clara delimitación, y en ellos se podían leer también las limitaciones de uso establecidas para cada conducción en particular (Moreno 2007, 1-2)<sup>183</sup>.

Para un romano el abastecimiento de agua suponía llevar el río a la ciudad, preservándolo en canales para que mantuviese intactas las características que tenía en su lugar de captación. Era como desviar un río, fragmentándolo en multitud de arterias o tuberías, pero manteniendo en todo momento el flujo continuo del agua. Esta entraba continuamente en la conducción central y salía sin cerrar por los múltiples ramales, es decir, cuando se cerraba un grifo, el agua tampoco se detenía, sino que continuaba por otro ramal hasta desaguar (Peña 2010, 250)<sup>184</sup>.

Es un hecho el que muchas ciudades romanas se asentaron cercanas a un cauce fluvial: Valentia (Valencia) junto al Turia, Sagvntvm (Sagunto) junto al Palancia o Saetabis (Xàtiva) cercana al Cãñoles. Pero también es un hecho que, a pesar de ello, se aprovisionaban mediante los acueductos desde cualquier otro punto de captación que, en su opinión, disponía de mejores condiciones para el consumo humano. El aprovechamiento del río más próximo y sus aguas quedaban entonces para otros usos: agrícolas, artesanales, industriales, mineros, etc.

Los puntos de captación se intentaban localizar preferiblemente en zonas alejadas de los asentamientos humanos y explotaciones agrícolas y ganaderas, evitando así sabores y mineralizaciones fuertes. Elegían los ríos y manantiales próximos a las montañas, aunque no era una regla estricta, seleccionando cualquier lugar que produjera aguas

---

<sup>183</sup> I. MORENO GALLO (2007). "Libratio Aqvarvm. El arte romano de suministrar las aguas", *TRAIANVS - AQUAE* (edición digital).

<sup>184</sup> J. M. DE LA PEÑA OLIVAS (2010). "Sistemas romanos de abastecimiento de agua", *TRAIANVS - AQUAE* (edición digital).

transparentes e inodoras, sin apenas lodos u otros materiales en suspensión (Peña 2010, 251).

Una vez localizado el punto de captación, entraba en acción todo el repertorio de soluciones técnicas propias de la ingeniería hidráulica romana para llevar el agua del río a la ciudad.

Para ello, debían encauzar las aguas, canalizarlas y distribuirlas, tratando de mantener en todo este proceso la calidad de origen de estas aguas hasta la llegada a la ciudad. Para conseguirlo aplicaban, cuando era posible, dos premisas: preservar el agua del contacto con el exterior y evitar su estancamiento, siendo esto último una operación bastante delicada, ya que si el agua se estancaba o fluía demasiado lenta, terminaba por producir concreciones calcáreas que obstruían la canalización. Por el contrario, si se desplazaba a una velocidad demasiado alta acababa erosionando los acueductos y arrastrando este material como partículas en suspensión (Peña 2010, 251).

Tras recorrer la distancia necesaria hasta llegar a la ciudad, lo habitual era que la conducción atravesara las murallas y descargará su agua en un primer depósito o *castellvm aquae*, a partir del cual se distribuiría por medio de tuberías y pequeñas canalizaciones a otros depósitos de distribución o ya directamente al resto de la ciudad. Vitruvio lo explica del siguiente modo:

[...] Cuando el agua llegue a los muros de la ciudad, se construirá un depósito y tres aljibes, unidos a él para recibir el agua; se adaptarán al depósito tres tuberías de igual tamaño que repartirán la misma cantidad de agua en los aljibes contiguos, de manera que cuando el agua rebase los dos aljibes laterales empiece a llenar el aljibe de en medio [...].

(Vitruvio, VIII, 6, 1)<sup>185</sup>

[...] En el aljibe central se colocarán unas cañerías, que llevarán el agua hacia todos los estanques públicos y hacia todas las fuentes; desde el segundo aljibe se llevará el agua hacia los baños, que proporcionarán a la ciudad unos ingresos anuales; desde el tercero, se dirigirá el agua hacia las casas particulares, procurando que no falte agua para uso público. Los particulares no podrán desviar para su uso privado el agua de uso público, ya que habrá unos conductos especiales directamente desde los aljibes [...].

(Vitruvio, VIII, 6, 2)

En los criterios romanos de distribución primaba el interés público sobre el interés privado, en especial las fuentes públicas, posteriormente se daba prioridad al

---

<sup>185</sup> M. VITRUVII POLLIONIS (1997). *De Architectura (Opus in libris decem)*. Alianza Forma (edición digital).

abastecimiento del resto de instalaciones públicas, en especial termas y cuarteles y, por último, el excedente se destinaba para concesiones privadas.

Las concesiones privadas estarían limitadas en un principio para los personajes más notables de la sociedad, aunque con el tiempo también tuvieron acceso otros estamentos inferiores. No obstante, solían producirse también gran cantidad de conexiones no autorizadas, que llevaron a la realización de muchas inspecciones de la red para la desconexión de tomas ilegales (Peña 2010).

Finalmente, cada red de distribución debía adaptarse a cada ciudad según su emplazamiento, tamaño y necesidades. Esto terminó por producir gran diversidad de variantes, aunque manteniendo siempre el orden de prioridades en cuanto al abastecimiento.

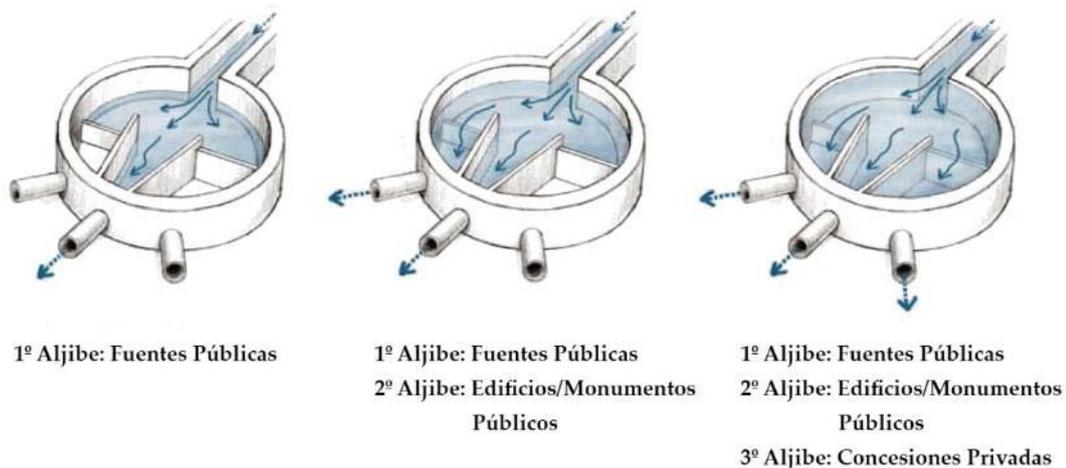


Ilustración 201: *Castellom aquae* vitruviano. Prioridad en el abastecimiento (Feijoo 2006, 154)<sup>186</sup>.

La estructura de la red de abastecimiento de una ciudad romana se divide en dos tramos: la captación-canalización y la distribución (Peña 2010, 256-260; 268-269).

### 3.1.1. Captación y canalización de agua hasta la ciudad

La red comenzaba en un punto de captación. Su selección representaba una decisión estratégica fundamental: debía proporcionar las aguas más puras y saludables. Huían de las aguas estancadas, enturbiadas o con vegetación que invadiese el río y que pudiera

<sup>186</sup> S. FEIJOO MARTÍNEZ (2006). “Las presas y el agua potable en época romana: dudas y certezas”, *TRAIANVS - AQUAE* (edición digital).

estropear en un futuro las aguas. Dependiendo del sistema de captación podían hacerse obras de retención de agua, pero garantizando siempre su continua renovación.

Una vez canalizada el agua, cuando fuera necesario y antes de entrar en la conducción o *aqvaeductvs*, se hacía pasar por un arenero o depósito de decantación o *piscinae limariae*.

Posteriormente el agua ya podía entrar en el *specvs*, que era una conducción o canalización de sección rectangular. Este canal podía estar cerrado o abierto superiormente. Independientemente de ello, lo verdaderamente importante era que dispusiera de una pendiente débil que asegurase una conducción laminar, con velocidad lenta y tranquila que no superase los 0,5 m/s. Solo se contemplaban excepciones a este requisito cuando las condiciones así lo exigían, por ejemplo, cuando había que salvar algún accidente geográfico por medio de un sifón, o bien debía aplicarse alguno de los sistemas para el cambio de carga hidráulica, caso en el que el agua conducida necesariamente debía abandonar la conducción laminar.

Antes de llegar a la ciudad era usual que la conducción conectase con otro depósito decantador y aireador llamado *contectis piscinis*. Con esto se mejoraba aún más la calidad de las aguas.

Es interesante señalar que durante este primer tramo podían existir derivaciones del conducto principal. Usualmente estas se conducían hacia un depósito de derivaciones, desde el cual se podía abastecer a las villas suburbanas, explotaciones agrícolas, etc. También era fácil encontrarse con otros accesorios necesarios para asegurar y facilitar el mantenimiento, como es el caso de fuentes aliviadero, pozos de registro, etc.

Por último, no todos los acueductos suministraban agua del mismo modo. De modo resumido, por sus características, se podrían agrupar en tres grandes tipos: los acueductos que por sí solos abastecían completamente a una ciudad; los acueductos que suministraban parcialmente a una ciudad, la cual requería del abastecimiento de varios, y por último el tipo de acueducto que atravesaba toda una región dando suministro a diversas ciudades.

### 3.1.2. Distribución de agua en la ciudad

Cuando el acueducto llegaba a la ciudad, su morfología se adaptaba a unas nuevas condiciones funcionales para permitir la adecuada distribución del agua por toda la población. Los tipos de entrada en la ciudad eran diversos y también los tipos de distribución y conducciones utilizadas. Así, cuando el acueducto llegaba a la ciudad se conducía siempre que era posible hacia el punto más elevado de la misma,

produciéndose por él la entrada a la ciudad y la conexión con el depósito o *castellum aquae* principal. En los casos más favorables el acueducto entraba a nivel en la ciudad por el punto más elevado, en otros casos debía forzarse la elevación del agua por medio de bombeos u otras técnicas, incluso mediante sifones.

Dependiendo de la cantidad de acueductos que llegaban a la ciudad, la distribución se realizaba de dos modos: simple y compleja. La distribución simple era la más usual, sucedía cuando la ciudad se abastecía de un solo acueducto. La distribución compleja se producía cuando la ciudad era abastecida por varios acueductos, en estos casos podía existir una interconexión entre las diferentes conducciones de modo que pudiesen compensar los caudales entre ellas.

Independientemente de lo dicho, cuando la conducción penetraba en la ciudad, llegaba hasta el depósito principal de distribución que solía encontrarse en las proximidades de la muralla o cercado. Los depósitos tenían grandes dimensiones en planta al igual que en altura, proporcionales al tamaño de la ciudad a la que abastecían. Junto a ellos solían aparecer otros elementos necesarios para asegurar la calidad del agua como aireadores o decantadores además de los partidores para repartir y distribuir las aguas. Podía darse el caso de que este depósito principal de distribución, el aireador y el posterior partidor estuviesen contruidos en un mismo edificio.

En aquellas ciudades susceptibles de sufrir sequías importantes, podía necesitarse un almacenamiento del agua en grandes cisternas, que en muchos casos se trataba de aljibes para agua de lluvia que se conectaban con el acueducto de abastecimiento (Adam 1996, 271).

De los depósitos principales salían las conducciones primarias, normalmente tuberías de gran calibre, de 21 a 23 cm de diámetro, que podían ser de cerámica o plomo y que alimentaban otros depósitos de distribución.

Desde estos últimos depósitos de distribución, el agua se conducía hasta los partidores y cuartos de contadores o *calix*, desde los que salía el agua en tuberías de distribución por la ciudad. Estas contaban ya con un diámetro inferior, de 9,25 cm. Se trataba de conductos a presión que llevaban el agua hasta las fuentes, edificios públicos y concesionarios privados.

En ciudades de tamaño importante llegaba a existir una estructura arbórea de ramales que alimentaban a más distribuidores que a su vez también lo hacían con otros hasta llegar al último nivel desde el que se abarcaba toda la ciudad.

Al final de cada rama de la conducción existía un vertedero o aliviadero en el último depósito de distribución, para eliminar el agua sobrante o excedente o *caducae*.

La distribución por la ciudad a partir del depósito principal se realizaba normalmente por tuberías a presión, y para ello se hacía necesario el uso de válvulas y extractores de aire a lo largo de la instalación.

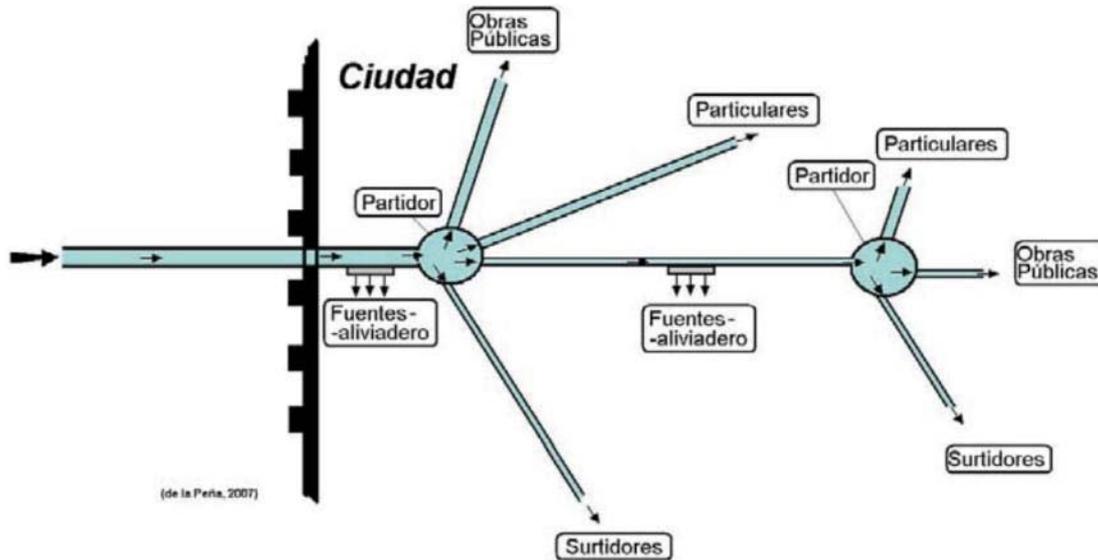


Ilustración 202. Esquema de abastecimiento de agua de una ciudad (Peña 2010, 252)

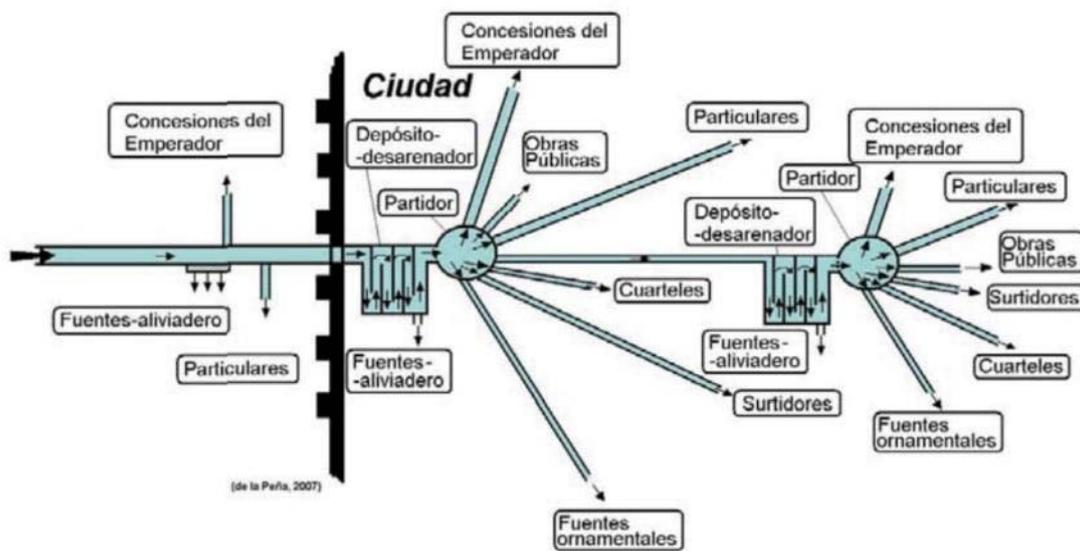


Ilustración 203. Esquema de abastecimiento de agua de una ciudad grande (Peña 2010, 253).

## 3.2. ESTRUCTURA DE UNA RED DE SANEAMIENTO DE AGUA

Los romanos concibieron sistemas de saneamiento en terrenos rurales y en ciudades. Los primeros se hicieron necesarios para hacer cultivables y habitables las zonas donde se establecían, muchas de las cuales necesitaban transformaciones para ello. Los segundos fueron fundamentales para mantener la vida, la higiene y la salubridad de las poblaciones (Fernández 1985, 23-63)<sup>187</sup>.

### 3.2.1. Saneamiento de terrenos

Esta civilización aprendió a controlar y mejorar los terrenos donde se asentaba, porque no siempre se contaba con las condiciones ideales y debían adaptarlos. Además, el clima mediterráneo y el terreno donde establecieron sus primeros asentamientos les obligó a hacer frente a la siguiente problemática: la primera dificultad correspondía a las lluvias torrenciales mediterráneas, las cuales erosionaban el manto superficial de tierra fértil que destinaban a la agricultura; el segundo consistía en drenar las tierras anegadas para hacerlas cultivables, y en evitar que se anegasen las que ya tenían en uso; el tercero lo representaban los periodos de escasez de agua, el clima mediterráneo produce temporadas de escasez y sequía, y los romanos debían asegurar reservas para estos momentos.

Los romanos se enfrentaron a estos problemas por medio de la aplicación de diversas técnicas que posteriormente incorporarían a su repertorio tecnológico. Una técnica de drenaje utilizando *conicoliis*, mediante la cual construían una red de galerías subterráneas para drenar y reconducir el agua hacia una canalización. Esta técnica además de para el saneamiento también sería aplicada para la captación.

Otra solución consistía en el empleo de zanjas rellenas. Se usaban fundamentalmente en zonas de labranza. Estas podían disponerse en las zonas altas de los terrenos a drenar, y en ese caso se utilizaban para recoger las posibles aguas de escorrentía para reconducirlas y evitar la erosión del terreno. Estas zanjas se llamaban *fossae inciles*. También podían colocarse en las depresiones del terreno, llamándose *fossae solci*. Otro caso era el de los surcos para desagüe o *solciaqvarii*, que llevaban el agua excedente de riego a los *colliquiae*, que desagaban en las *fossae* del saneamiento general.

Por último, también emplearon el drenaje mediante tubos cerámicos. Estos funcionaban a modo de los tubos de drenaje actuales.

---

<sup>187</sup> C. FERNÁNDEZ CASADO (1985). *Ingeniería hidráulica romana*. Madrid: Turner.

### 3.2.2. Saneamiento de ciudades

En las ciudades, el principal problema que apareció fue el de evacuar el agua que se encharcaba y que podía convertirse en foco patógeno. Esto ocurría en las zonas con deficiencias en el desagüe natural, o en zonas donde surgían manantiales o existía un exceso de humedad en el subsuelo. El clima mediterráneo también producía lluvias torrenciales, cuya agua debía ser rápidamente encauzada y evacuada sin producir desastres naturales o catástrofes humanas.

Para realizar la evacuación de este tipo de aguas era preciso recogerlas desde las zonas donde manaban o donde se concentraba la humedad, y reunir las subterráneamente en la red definida por la ordenación de las calles de la ciudad para conducir las fuera de ella mediante canales o tuberías que las incorporasen a la red natural de la circulación fluvial, o bien en algunos casos particulares distribuyéndolas convenientemente para el riego de los campos próximos a las ciudades.

Cuando las ciudades crecieron, incrementando su complejidad, comenzaron a recibir el aporte de caudales mayores. Estos grandes volúmenes de agua se contaminaban y cargaban de detritus conforme atravesaban la ciudad y eran utilizadas, haciéndose necesaria su rápida evacuación hacia el exterior de la misma. La necesidad de resolver este problema dio lugar a la creación del sistema de la red de cloacas. La regularidad de las ciudades romanas producida por la retícula de *cardo* y *decumanos*, sumado al hecho de que la distribución del agua para consumo dentro de una ciudad también se ordenara utilizando esta retícula, ayudó a su implantación y buen funcionamiento.

Las aguas sucias de toda la ciudad se recogían y canalizaban por conductos que partían desde los puntos donde habían sido consumidas. Estos conductos convergían en cloacas, de mayor sección que a su vez podían desembocar en otras aún mayores, dependiendo del tamaño de la ciudad. El recorrido de las cloacas terminaba fuera de las ciudades, evacuando las aguas negras del modo más rápido factible. Estas aguas además debían ser regeneradas y para ello las vertían a ríos próximos para que fueran asimiladas y limpiadas por las grandes masas de agua y retornasen al ciclo hídrico.



Ilustración 204. Los distintos ingenios de un acueducto romano. Vitruvio, Liber Octavvs, CXXXIX. Edición de Cesare Cesariano, 1521 (Fernández 1985, 264).

### 3.3. CAPTACIONES DE AGUA

La forma de captación del agua y su transporte y distribución hasta el consumo por la población era la mayor preocupación que cualquier mandatario de la ciudad tenía entre sus obligaciones<sup>188</sup>. Plinio el Viejo, en su *Historia Natural* ya describe este hecho y estipula que en muchos lugares la salubridad del agua depende de factores que cambian según las zonas (Plinio el Viejo, XXXI, 21, 33).

La ingeniería romana desarrolló un amplio abanico de soluciones técnicas para adaptarse en todo momento a las características de cada lugar. No obstante, en el momento de elegir las técnicas de captación, buscaba dos premisas básicas: la calidad del agua que se debía transportar y la cantidad de agua demandada, pudiendo primarse una frente a otra, aunque siempre debiendo encontrar el equilibrio adecuado para cada caso (Peña 2010, 261).

Los romanos buscaban el agua de mayor potabilidad, entendiendo con ello la que en origen era la más clara, la más fría, la captada a mayor altura y con el mejor sabor. Las aguas de peor calidad las destinaban para otros usos distintos del consumo humano. Tras encontrar el agua idónea, si era necesario aplicaban técnicas para mejorar su calidad. Durante la canalización trataban de conservar estas cualidades, evitaban en todo lo posible su contacto con materiales erosionables y disminuir la velocidad del agua para dificultar el arrastre de sólidos (Moreno 2007, 9).

Vitruvio expone en el capítulo cuarto del libro VIII un método para comprobar la salubridad del agua. En primera instancia aconseja observar la constitución de la gente que habita en sus alrededores y que consume dicha agua. Si la gente está sana y fuerte el agua deberá ser buena. En segundo lugar, sugiere asegurarse de que el agua no deje manchas ni restos procedentes de partículas en suspensión (Vitruvio, VIII, 4, 1). Por último, prescribe utilizar aguas blandas, con pocas sales de calcio o magnesio o, como él dice, aquellas que "cuecen rápidamente las legumbres", así como aquellas que fluyen limpias y transparentes (Vitruvio, VIII, 4, 2).

#### 3.3.1. Manantiales

La captación desde los manantiales ofrecía a los romanos las mayores garantías de calidad. Vitruvio a lo largo del libro VIII se refiere continuamente a ellos como el punto ideal para la captación, ya que es la más sencilla de realizar (Vitruvio, VIII, 1, 1). Sobre la calidad de sus aguas nos dice que preferiblemente se busquen los manantiales que

---

<sup>188</sup> Conjuntamente con la defensa militar de la ciudad.

nazcan en las montañas, aunque aquellos que broten en los llanos pueden ser igualmente válidos cuando sus aguas les lleguen subterráneamente desde las montañas (Vitruvio, VIII, 1, 2). Estos manantiales podían conectarse por medio de una canalización a un depósito o a una balsa, el cual podía equiparse con distintos dispositivos para mejorar la calidad de sus aguas como desarenadores y decantadores. Desde aquí partía el acueducto hacia la ciudad. También podía darse el caso de que se conectaran directamente con el acueducto sin pasar por ningún depósito.

Así, tanto por su calidad como por su caudal, el aprovisionamiento ideal era el manantial permanente. Cuando uno brotaba de una cavidad adquiría un significado ritual y era ensalzado como elemento sagrado ligado a las Ninfas, pasando a llamarse Ninfeo o *Templum Nympharum* (Adam 1989, 259).

### 3.3.2. Pozos

Los pozos no se utilizaban usualmente como punto de captación para acueductos. El trabajo y coste que suponía la elevación continua de sus aguas no hacía viable esta solución ya que se necesitaban norias y maquinaria de costoso mantenimiento, así pues, se destinaba su uso para el ámbito doméstico privado. No obstante, de modo ocasional podía suceder que un pozo estuviera pinchado por una tubería para llevar su agua hacia un depósito o hacia un acueducto (Peña 2010, 262).

### 3.3.3. Galerías de infiltración

Las galerías de infiltración o *cuniculiis* eran galerías o túneles excavados de una longitud considerable, de 20 a 100 m, que se realizaban bajo una montaña con el fin de interceptar el nivel freático y los posibles manantiales de montaña. El túnel se excavaba dejando una pendiente hacia el exterior, de modo que las aguas drenadas se recogían en él y se encauzaban por un canal por el que discurrían hacia la salida. El agua podía llevarse hasta un arenero o depósito de decantación o bien podía conducirse directamente hacia el acueducto (Peña 2010, 262).

### 3.3.4. Ríos y lagos

La captación directa desde ríos y lagos era uno de los métodos más empleados. El método para desviar el agua era sencillo: se construía un pequeño resalto que frenaba la velocidad del cauce aumentando la altura de la lámina de agua, parte de la cual se

desviaba lateralmente por un canal. También podía abrirse un canal de desvío al lado del cauce (Peña 2010, 262).

Si la captación desde los ríos fue fundamental en los inicios de la civilización romana, sería posteriormente cuando los romanos afinaron las exigencias hacia el agua y decidieron que el agua procedente de los ríos no reunía las condiciones sanitarias necesarias (Fernández 1985, 279).

### 3.3.5. Presas y embalses

Para cauces pequeños y medianos podía darse el uso de presas y azudes para retener y desviar el agua hacia el acueducto. Los romanos construyeron presas en cauces pequeños para formar embalses como depósito de agua, aunque no eran las preferidas para el consumo humano y se destinaban a la agricultura. Cuando querían emplearlas para abastecimiento, preferían realizar pequeños azudes que captasen el agua de los manantiales y actuaran como reguladores de caudal de desvío (Peña 2010, 262-263).

### 3.3.6. Cisternas o aljibes

Recoger el agua de lluvia y almacenarla en cisternas o aljibes es uno de los sistemas más antiguos para captar agua y un método muy utilizado en países de clima mediterráneo. El agua así obtenida se utilizaba para ámbitos más privados de manera semejante al agua de los pozos (Peña 2010, 263).

En zonas con sequías prolongadas, las ciudades podían prever la construcción de grandes depósitos o cisternas para compensar los momentos de escasez y continuar dando servicio a sus habitantes. Estos podían ser depósitos o *castellum aquae* realizados *ex profeso* o bien podían ser antiguos aljibes para captación de agua de lluvia a los que se conectaba el acueducto de abastecimiento (Adam 1996, 271).

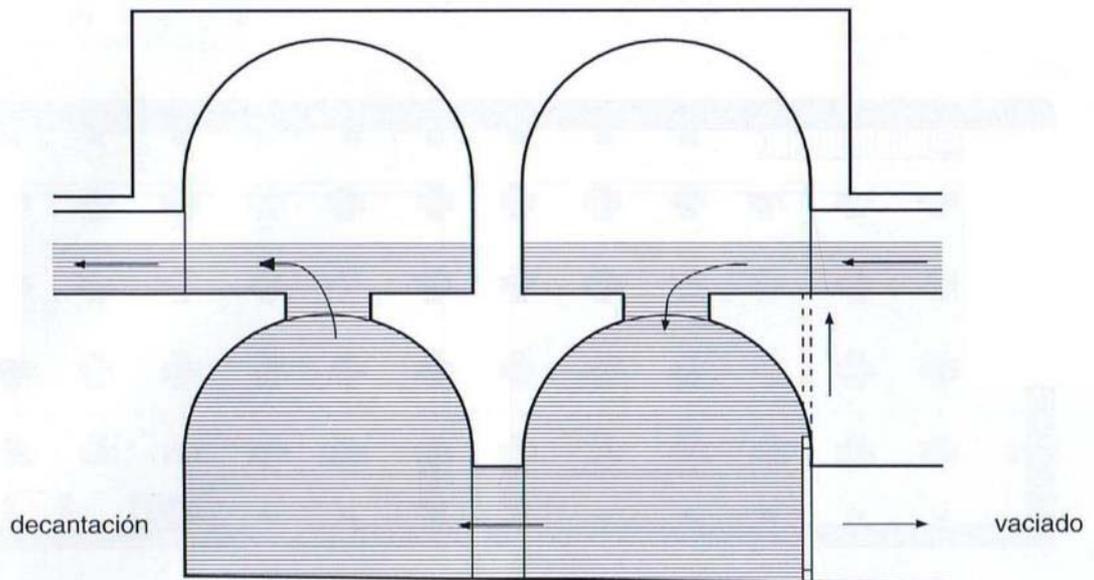


Ilustración 205. Depósito con sistema de cámaras de decantación o *piscinae limariae* (Adam 1989, 271).

### 3.3.7. Depósitos de agua

A lo largo del trazado de un acueducto suelen aparecer diversos tipos de depósitos de agua, la mayoría cumplen una función de almacenamiento y distribución a la par que de registro y mantenimiento.

Es habitual encontrar depósitos en los puntos de captación para facilitar el entronque y regular el caudal entre ellos, los situados en puntos con surgencia de agua, es decir, aquellos colocados en manantiales. Muchos de ellos adquirieron la categoría de ninfeas y en ellos se extendió el carácter religioso de la surgencia natural a la construcción, llegando a considerarse templos de las ninfas. También podían encontrarse ninfeas en el interior de la ciudad, aunque en este caso se trataba más bien de fuentes ornamentales (Fernández 1985, 181).

En otros tipos de puntos de captación podemos encontrar otras clases de depósitos como el *lacvs*, que era una acumulación de agua artificial sin cubierta que aprovechaba una hondonada que se agrandaba en algunos casos por excavación artificial o por represamiento mediante obra pequeña de tierra. En el caso de que se regularizara el contorno más o menos geométricamente con obra de fábrica se obtenía la *piscina*, la cual por medio de la adición de sistemas de decantación pasaba a llamarse *piscina limaria*. Cuando la *piscina* se cubría se denominaba "cisterna" (Fernández 1985, 181-183).

Durante el recorrido del acueducto se hace necesaria la disposición de depósitos intermedios. Vitruvio (VIII, 6, 7) recomienda que se coloquen cada 24.000 pies (unos

7.200 m) en puntos donde el nivel sea completamente regular. En estos depósitos, además de las funciones de almacenamiento e inmediata distribución, control y regulación del caudal, aparecerán otras como la de convertirse en un punto de registro y de acceso para el mantenimiento.

También tendremos al menos dos depósitos en los sifones. Uno al inicio (el depósito de caída) para empalmar el canal con la tubería del sifón y ofrecer un almacenamiento suficiente de agua, que asegure un caudal y presión continua por todo el sifón. Una vez salvada la depresión geográfica deberá disponerse otro que hará las labores de distribución (el depósito de recepción), en el que se empalmará de nuevo la tubería con el canal.

Al llegar a las poblaciones aparecen los depósitos terminales o *castellvm aquae*, verdaderos depósitos de distribución, que alimentan todos los puntos de la ciudad. Solían quedar enterrados en la mayoría de los casos, aunque en ocasiones excepcionales sobresalían del nivel del suelo, caso en que se les daba la máxima monumentalidad posible (Fernández 1985, 177).

Se trataba de depósitos cubiertos desde los que se distribuía el agua para el consumo en la urbe. Cuando Vitruvio hace referencia al depósito que se colocara en la acometida del acueducto con la ciudad en VIII, 6, 1, está refiriéndose al caso de un *castellvm aquae*.

Normalmente eran salas cubiertas abovedadas, aunque los de mayor tamaño llegaban a formar majestuosas salas hipóstilas de pilares o columnas, o bien sucesiones de cámaras abovedadas conectadas y dispuestas paralelamente (Adam 1996, 272).

En todos los abastecimientos de cierta importancia debió existir al menos un *castellvm aquae* y dependiendo del tamaño de la ciudad y del número de acueductos que la abasteciesen, podían existir varios. Resultaba indispensable para acomodar el flujo continuo que aportaba el acueducto a las necesidades de un consumo irregular. En todo caso la entrada o *inmisarivm* y la salida o *emissarivm* de los depósitos debían estar situadas a la mayor separación mutua, con objeto de que el agua recorriera el trayecto más largo posible para que el agua pudiera sedimentar la mayor cantidad de partículas en suspensión. El depósito tenía siempre un desagüe de fondo y un aliviadero que cuando la red de cloacas estaba organizada vertía directamente a ella; este desagüe no servía para el arrastre de sedimentos, que debían eliminarse manualmente (Fernández 1985, 183-185).

### 3.4. CONDUCCIONES DE AGUA

Es necesario entender cómo eran las conducciones que canalizaban el agua y el modo en que lo hacían. La división que plantea Vitruvio en tres tipos de conductos —canales de albañilería o *canalis strucltilis*, tuberías de plomo o *tubulis plumberis* y cañerías de barro o *tubulis fictilibus*— no abarca toda la casuística, ya que existían casos de conducciones realizadas en bronce, también otras con sillares ahuecados de modo que al adosarse en hilera formaban conducto como el de los tubos o *tubulis*. Excepcionalmente podían hacerse conductos de madera o de cuero endurecido. Desde un punto de vista hidráulico sería más adecuado plantear la división en dos tipos: conducciones libres (agua rodada) y conducciones forzadas (a presión) (Fernández 1985, 287).

#### 3.4.1. Conducciones libres

##### Canales

Las conducciones libres solían materializarse mediante un canal o *specus*, *canalis* o *rivus*, que generalmente discurría junto a la superficie de terreno, siguiendo el recorrido con lapendiente más suave mientras fuese posible o atravesando cualquier accidente geográfico cuando no quedase más remedio.

Los canales o *canaliis* eran normalmente de sección rectangular, con una solera horizontal y dos hastiales verticales, que formaban el *specum*, pero a veces se les daba sección trapezoidal con la base menor en la solera (Fernández 1985, 291).

Conforme describe Vitruvio se construía con obra sólida de fábrica, nivelando el lecho con una pendiente aproximada de 0,5 % <sup>189</sup> para asegurar la conducción laminar y evitar velocidades superiores a los 0,5 m/s. Si se superaba esta velocidad el canal se desgastaba por erosión. Por contra, si se quedaba por debajo, dependiendo del contenido de cal del agua conducida, podían producirse concreciones calcáreas en las paredes del canal que terminaban por reducir la sección mojada. Ambos problemas podían terminar destruyendo la canalización.

---

<sup>189</sup> Se ha podido comprobar la confusión causada por las distintas traducciones del Vitruvio. Estudios basados en la traducción de Agustín Blázquez, de la Editorial Iberia, señalan siempre que la pendiente debe ser "[...] de a lo menos un cuarto de pulgada por cada cien pies de longitud [...]" que equivale aproximadamente a un 0,02 %. El texto original en latín dice "[...] solumque rivi libramenta habeat fastigata ne minus **in centenos pedes semipede** eaeque structurae confomificentur [...]" dejando claro que debe tener no menos de medio pie cada cien y por lo tanto una pendiente mayor o igual a 0,5 %.

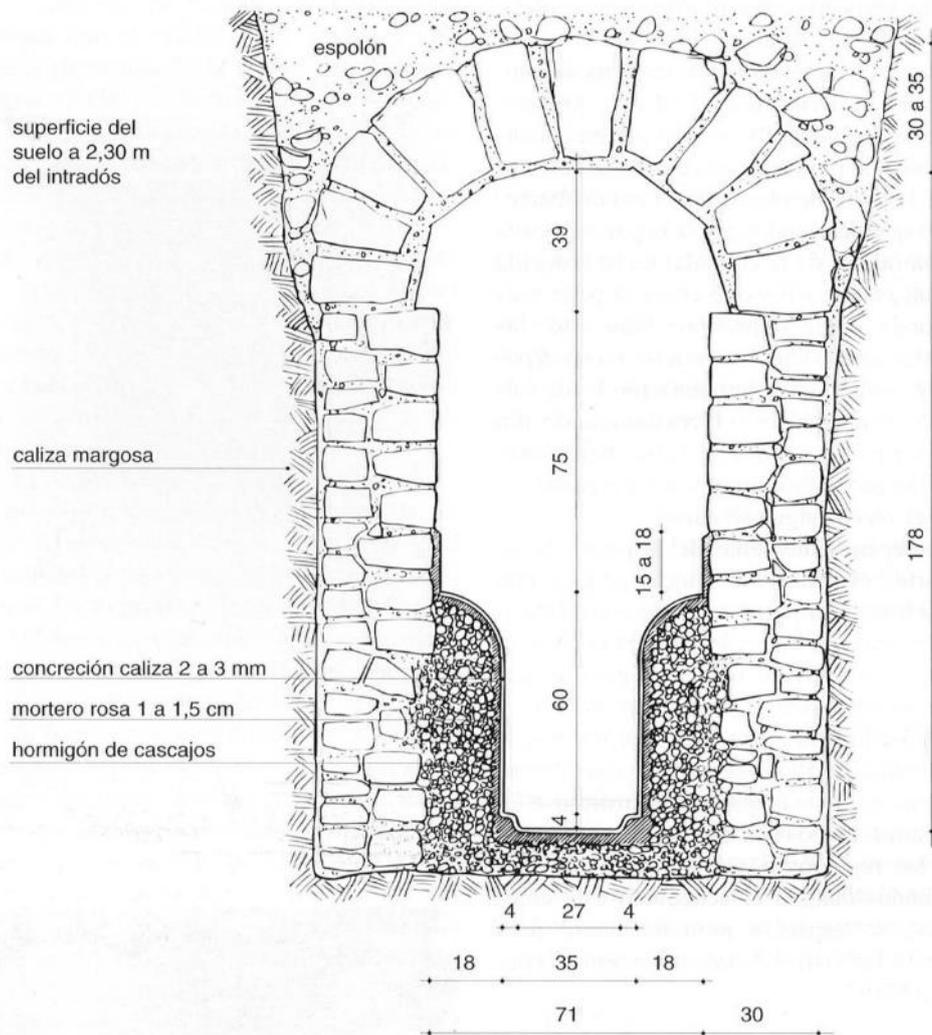


Ilustración 206. Sección tipo de un canal. Caso del acueducto de Traslay (Adam 1996, 270, fig. 570)

Los canales cubiertos y descubiertos coexistieron en distintos tramos de un mismo acueducto. El tipo de canal cubierto era el recomendado. Vitruvio propone su cubrición por medio de una bóveda ejecutada en albañilería para preservar el agua canalizada del contacto directo con el sol, ya que los romanos pensaban que estropeaba el agua.

Además de la bóveda existen otras maneras de construir la cubierta ya que puede hacerse con dinteles planos, con losas apoyadas a dos aguas y con falsas bóvedas o por aproximación de hiladas, formando así diversos tipos de *specus*: de bóveda, de dintel plano, apuntado y de falsa bóveda. El tipo de cubierta más frecuente fue la bóveda, el dintel plano se usaba más en canales de cloacas y desagües, el apuntado era común debido a su facilidad de ejecución, pero presentaba problemas de estanqueidad, mientras que la falsa bóveda era poco frecuente (Peña 2010, 263-264).

Si a lo largo del recorrido de un acueducto aparecían obstáculos debido al relieve del terreno, el acueducto debía salvarlos o rodearlos sin imponer demasiadas presiones a la pendiente media. Si se pretendía mantener el régimen laminar, la mayoría de las ocasiones serviría con rebajar un poco el terreno, semienterrando el tramo de acueducto. Otras veces bastaría con elevar un poco la base del acueducto. No obstante, cuando se encontraban con una montaña en el camino o con un barranco que salvar, debía de recurrirse a soluciones más complejas como las galerías excavadas a través de las montañas o bien a acueductos aéreos (Adam 1996, 264-266).

Era habitual que un mismo acueducto presentara tramos enterrados, semienterrados, tramos superficiales y tramos aéreos, esto se correspondía con la necesidad de mantener una pendiente homogénea.

Los tramos enterrados y subterráneos eran los más frecuentes, seguramente para evitar que las canalizaciones fueran interceptadas por enemigos. Además, así se aseguraba un mayor control de sus aguas y evitaban conexiones no permitidas. Por último, cuando las conducciones se acercaban a la ciudad era más cómodo que estuviesen enterradas porque causaban menos molestias a los ciudadanos (Peña 2010, 264).

Estos tramos enterrados, en ocasiones túneles excavados en la montaña o el subsuelo, solían presentar unas banquetas laterales que servían para dar forma al *specus* a la par que facilitaban el deambular de los operarios que realizaban las inspecciones y el mantenimiento. La cubierta de estos tramos podía ejecutarse de fábrica, aunque también podía estar excavada sobre el terreno siempre que la roca lo permitiese (Fernández 1985, 289).

En las ocasiones en que el canal se despegaba del suelo para mantener el nivel de la pendiente, se utilizaba para sustentarlo un muro o *substructionibus* siempre que no se elevase más de tres metros, aunque también podían utilizarse pequeños machones

separados regularmente sobre los que apoyaba la conducción. Si se elevaba más, se hacía necesario el uso de arquerías formalizándose los puentes-acueductos o *arcuationibus* (Fernández 1985, 291).

Por último, en las galerías de los túneles conforme indica Vitruvio era recomendable practicar pozos hasta la superficie, cada ciento veinte pies (unos 35-36 m), que hacían la labor de registros, balizamiento del recorrido para definir la zona, así como servir como puntos de ventilación e iluminación.

### Revestimiento

En casi todos los casos se revestía toda la superficie del canal o al menos la que iba a estar en contacto con el agua. El revestimiento era de *opus signinum*, y las juntas se protegían longitudinalmente por medio de cordones del mismo mortero con sección en cuarto de caña. Esto se aplicaba en general del mismo modo para todas las superficies y ángulos en contacto con el agua. Si el canal se hacía excavado en roca suficientemente resistente podía no revestirse. Si la roca era blanda, podía necesitar que se forrase con fábrica posteriormente revestida con *opus signinum* (Fernández 1985, 291).

### Tuberías

Las cañerías de barro o *tubulis fictilibus* se utilizaban en conducciones sin presión, aunque existen referencias de que se podían utilizar con presión cuando existía un buen sellado. Las cañerías de cerámica eran de sección circular, más económicas y de mayor facilidad de reparación que el resto, ya que se podían cambiar los tramos de tubos más fácilmente y cualquier operario podía encargarse. Además, la pureza del agua que canalizaban era mejor que en las de plomo.

Las tuberías, independientemente de si llevaban agua rodada o a presión, se ubicaban casi siempre en el interior de galerías en cuya solera se colocaban con sujeciones de fábrica, dejando un espacio libre para las inspecciones y el mantenimiento. Estas galerías eran idénticas a las descritas para las canalizaciones enterradas salvo por el hecho de que no necesitaban formalizar el canal o *specus* ni tampoco el revestimiento (Fernández 1985, 297-299).

Los sistemas de redes de abastecimiento se equipaban con diversos elementos que optimizaban su funcionamiento de diversos modos. Cuando las aguas de captación portaban partículas en suspensión o estaban turbias, se hacía necesario instalar conforme

señala Vitruvio una sucesión de cisternas o balsas de decantación de arenas y lodos para limpiar y purificar las aguas (Vitruvio, VIII, 6, 15).

Los tres sistemas empleados para realizar cambios de carga hidráulica son: los resaltes hidráulicos, las cascadas y las escaleras hidráulicas. Tenían dos fines claramente definidos y diferenciados. Por un lado, regularizar la pendiente media del acueducto, es decir, provocar discontinuidades puntuales para que, manteniendo una pendiente media bastante constante, acortar la distancia de transporte. Por otro lado, servían para la autodepuración del agua al aumentar el oxígeno disuelto en ella e irse acomodando al terreno, especialmente en cambios bruscos, con la mínima pérdida de carga (Peña 2010, 267).

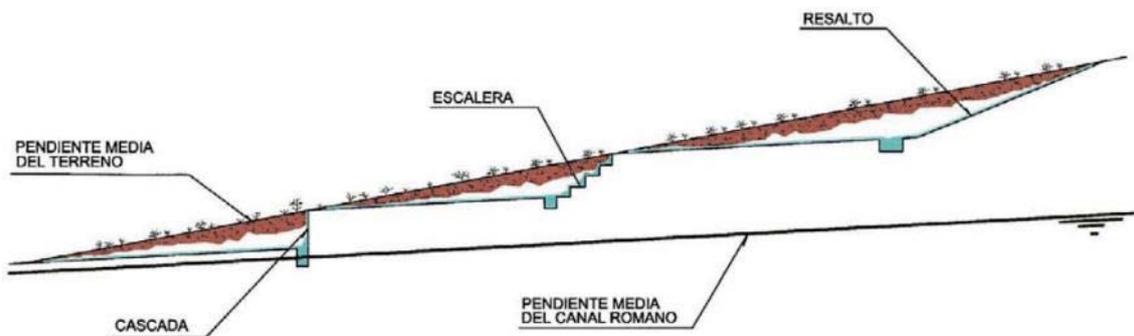


Ilustración 207. Sistemas de cambio de carga hidráulica (Peña 2010, 267).

Los acueductos exigían un control y regulación del caudal que transportaban. Se debía evitar que sucediesen rebases en zonas descubiertas, del mismo modo que no se podía permitir que los tramos cubiertos y cerrados entrasen en carga hidráulica, ya que podían reventar. En cierto modo los depósitos intermedios que aparecen durante el trazado del acueducto cumplen un papel de control para estos fenómenos, pero en los tramos entre depósitos se pueden hacer necesarios otros instrumentos de regulación de caudal como son los aliviaderos laterales que, en la mayoría de ocasiones, servían de fuentes surtidores, y los desviadores, que eran cuartos de regulación con varias compuertas que permitían el cierre y vaciado de tramos, haciendo las veces de desagües (Peña 2010, 267).

Según Vitruvio, los pozos de registro, también conocidos como *spiramen*, debían colocarse cada 120 pies (36 m aproximadamente), y servían para la aireación del canal, como punto de acceso para inspecciones y mantenimiento y como aliviaderos de seguridad para evitar que entrase en carga la conducción (Vitruvio, VIII, 6, 3 y 7). Vitruvio también propone la colocación de depósitos cada 24.000 pies (7.200 m aproximadamente) para la misma función de mantenimiento.

Como ya se ha dicho, los acueductos tenían un ámbito de protección, un área de policía en la que no se podía construir, ya que el acueducto era una infraestructura de interés público de suma importancia. La propia conducción, así como los depósitos y diversos elementos que lo componían, servían para su balizamiento mientras se mantuviesen a cota por encima de la superficie, pero cuando quedaban enterrados debían ser correctamente señalados. Para ello se usaban los pozos de registro y los *cippus*, que eran la señalización correspondiente colocada en el eje del canal. Estos últimos cumplían dos propósitos principales: el de señalar la trayectoria de la conducción subterránea y el de servir al usuario como referencia de que debía dejar a ambos lados una franja donde no se podía construir, plantar árboles o cultivos, enterrar muertos, etc. En los *cippus* además, figuraba el nombre de la conducción, el de la autoridad-promotor que lo había construido, el número del hito y la distancia hasta el siguiente (Peña 2010, 268).

### 3.4.2. Sifones

Según Vitruvio, siempre que fuera posible, las conducciones por tuberías a presión salvarían los accidentes del terreno del mismo modo que los canales. Cuando no pudiera hacerse así, al existir una depresión importante del terreno, propone el uso del sifón.

Las tuberías empleadas en estos casos también eran de plomo, de sección oval de calibres estandarizados, se utilizaban siempre que la conducción de agua estuviera sometida a una presión elevada, sobre todo para casos en los que tenían que atravesar accidentes geográficos por medio de la técnica del sifón. Existían también tuberías de cuero, de madera y de piedra (Fernández 1985, 295-297).

La conducción dentro del sifón se basaba en el principio de los vasos comunicantes e implicaba la existencia de presión en el conducto, por lo que se necesitaban tuberías capaces de resistir esas sollicitaciones. Su ejecución era complicada, pero conocían técnicamente cómo hacerla. Sabían montar abrazaderas en los empalmes de canalizaciones, aprisionándolos en bloques de piedra cada vez que había un codo brusco, pero el problema estaba en la cantidad de plomo requerida, así como en la buena ejecución por parte de la mano de obra especializada. Debían acometerse muchas soldaduras y empalmes susceptibles de producir fallos, así como observar el posterior mantenimiento periódico (Adam 1996, 268).

El funcionamiento del sifón era el siguiente: corriente arriba, el *specus* vertía sus aguas en un depósito (de caída) implantado en el arranque de la pendiente, desde este partían las canalizaciones de plomo que descendían hacia la panza de la depresión, reducían la flecha de la panza construyendo un tramo aéreo, un puente-sifón, que cruzaba la parte más profunda del accidente geográfico. Tras ello la tubería ascendía hasta llegar a otro depósito (de recepción) desde el que salía el *specus* que continuaba el trayecto del acueducto (Adam 1989, 269).

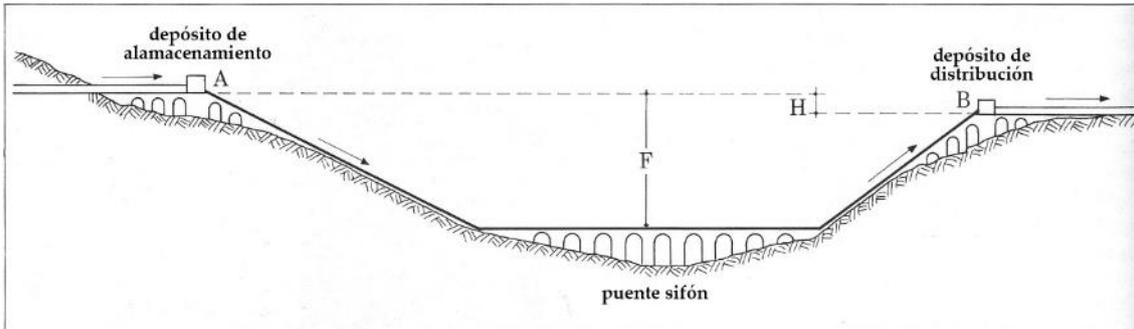


Ilustración 208. Sistema de salvación de desniveles: sifón. Caso de Lyon (Adam 1996, 268).

### 3.4.3. Conducciones cerradas y de agua urbanas

Las conducciones por el interior de la ciudad funcionan con el mismo criterio que el resto de conducciones analizadas. Tan solo cambia el caudal transportado y, por tanto, sus dimensiones y calibres se reducen para adaptarse.

#### Tuberías

Las más empleadas en las ciudades romanas eran las tuberías de plomo o *tubulis plumberis*. Se trataban de conducciones forzadas, las cuales funcionaban siempre a presión, distinguiendo su tipología por su calibre, grosor y soldaduras (planas, pico y montículo).

Las cañerías de barro o *tubulis fictilibus* eran bastante utilizadas debido a que implicaban un desembolso económico pequeño, como ya se ha señalado antes, se adoptaban en conducciones con presión reducida, siempre que se empleasen tubos de espesor mayor o igual a 2 dedos (3,7 cm aproximadamente) (Vitruvio, VIII, 6, 8). En caso de utilizarse en régimen de lámina libre funcionaban como conducciones sin presión aunque estuvieran canalizadas. Además, dentro de las ciudades se utilizaban en descarga, para bajantes, formando parte en estos casos de las redes de saneamiento.

Las tuberías de piedra, al igual que las de plomo, funcionaban como conducciones forzadas, siempre a presión, transportando agua entre depósitos.

Las tuberías de bronce fueron las menos utilizadas, debido quizás a que suponían un coste mayor. Funcionaban también como conducciones forzadas a presión y se usaban en pequeños tramos formando las terminaciones de grifo, contadores o *calix*, calibradores, etc.

En la mayoría de casos, las tuberías metálicas se unían entre sí por medio de soldadura, mientras que las cerámicas y pétreas por medio de uniones machihembradas, selladas con morteros de cal, aceite y cenizas (Peña 2010, 269-271).

### Canales

El uso de canales era destinado para los casos en que se necesitaba un tipo de conducción libre por la ciudad. Por regla general eran idénticos a los canales que abastecían a las poblaciones, aunque de tamaño inferior ya que trasportaban caudales inferiores. Siempre que se podía se enterraban para causar menos molestias en el trazado urbano.

La excepción en este caso corresponde con los canales que se destinaban para la red de cloacas, en ellos las dimensiones eran semejantes a las de los canales de abastecimiento de los acueductos o incluso mayores, debido a que podían llegar a conducir caudales aún mayores. Estaban preparados para poder recoger las ingentes cantidades de agua de lluvia que pueden darse en el clima mediterráneo, además de todas las aguas sucias de la ciudad, y evacuarlas hacia el exterior en el menor tiempo posible.

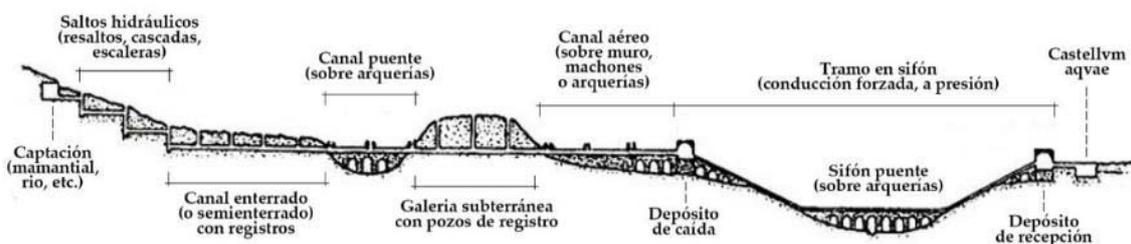


Ilustración 209. Diferentes elementos que constituyen un acueducto desde la captación hasta la entrada a la ciudad (Leveau 2004)<sup>190</sup>.

<sup>190</sup> J. LEVEAU (2004). "Libratio Aqvarvm. L'archéologie des aqueducs romains entre proet et usage", *TRAIANVS - AQUAE* (edición digital).

### 3.5. ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA CIUDAD DE EDETA

#### 3.5.1. Punto de captación

Tradicionalmente se ha venido sosteniendo que el abastecimiento de Edeta se producía desde el lugar conocido como “Pouet de Sant Vicent” (Jiménez 1995, 227)<sup>191</sup>. No obstante, se analiza la viabilidad de las distintas opciones que pudieron darse en tiempos de Edeta. Para ello se parte del análisis hidrológico del término de Lliria, y las opciones que ofrece: captación desde el único curso permanente en superficie, el río Turia o captación desde manantiales del acuífero, caso de la surgencia de la Font de Sant Vicent.

#### El río Turia como punto de captación

El Turia a su paso por Vilamarxant alcanza el punto más próximo a la antigua Edeta (T.0 en el mapa) a unos 6-7 km al sur. En esta zona el río se encuentra a aproximadamente a 90 m.s.n.m.<sup>192</sup>. Por tanto, esta opción se indica a modo de referencia, quedando descartado por diversas razones. La principal radica en que no se ha encontrado ningún vestigio en el entorno que indique que fue utilizado como captación. Además, hubiera supuesto el uso de maquinaria para la elevación de agua, o remontar unos 7 km a la contra de una pendiente del 1,14 % haciéndolo poco práctico e inviable.

Hay que ascender el curso del río Turia para encontrar vestigios de alguna posible conducción romana e indicar que se conservan tramos del acueducto romano de Chulilla-Gestalgar (T.1 en el mapa), el último de ellos de 1,5 km. Este se interrumpe a la altura de Gestalgar y no se encuentran más tramos que le den continuidad río abajo (Pérez 2006, 33)<sup>193</sup>. Este punto se encuentra a 207 m.s.n.m. y necesitaría al menos otros 30 km para llegar a Lliria. De haber existido continuidad hasta Edeta, hubiera tenido una pendiente media de 0,12 %, porcentaje muy inferior al recomendado por Vitruvio: 0,5 %.

Remontando el Turia aún más, llegamos hasta su afluente, el río Tuéjar. Partiendo desde su nacimiento (T.2 en el mapa), que encaja con la tipología de manantial de montaña propuesta por Vitruvio, se conservan tramos del acueducto romano de Tuéjar-Chelva-Calles-Domeño, también conocido como acueducto de Peña Cortada, unos 28,6 km de conducción que se interrumpen cerca del embalse de Loriguilla. A partir de este punto

---

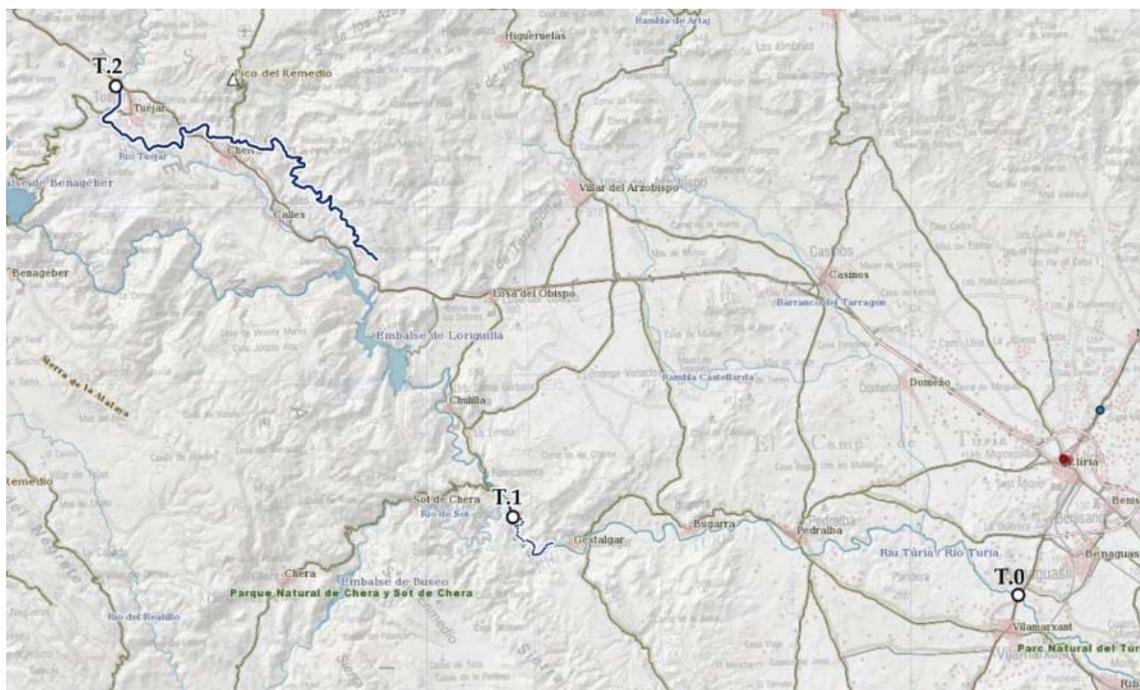
<sup>191</sup> J. L. JIMÉNEZ SALVADOR (1995). “Referencias historiográficas sobre el acueducto de Peña Cortada (Los Serranos, Valencia)”, *ARSE. Boletín Anual del Centro Arqueológico Saguntino*, 1994-1995, pp. 28-29. ISSN 0213-8026.

<sup>192</sup> Las Termas de Mura se encuentran a una cota entre 168-170 m.s.n.m.

<sup>193</sup> R. PÉREZ MÍNGUEZ (2006). *Aspectos del mundo rural romano en el territorio comprendido entre los ríos Turia y Palancia*. Serie de trabajos varios, 106. València: S.I.P. Diputació Provincial de València.

no se conservan más vestigios del mismo. Desde aquí aún quedan 30 km para llegar a Lliria. Un análisis de la pendiente media desde su captación a unos 573 m.s.n.m. hasta llegar a Edeta ofrece un valor de 0,67 %, aproximándose al valor de referencia 0,5 %. No obstante, con independencia de cuál pudiera ser su destino, las investigaciones arqueológicas parecen indicar que jamás fue terminado ni utilizado debido a la ausencia de vestigios más allá de las estribaciones del Altarejo y a la ausencia de concreciones calcáreas a lo largo de la canalización (Jiménez 1995, 227). No obstante, se podría plantear la hipótesis de un destino orientado hacia las explotaciones agrarias de la zona del Villar.

Por lo tanto, se descartan ambos acueductos río arriba como conductos de abastecimiento para Edeta. El resto de acueductos documentados en las inmediaciones de Lliria aparecen río abajo, por lo que también son descartados.



- T.0 - Vilamarxant
- T.1 - Gestalgar
- T.2 - Tuejar
- L'Ull Redó
- Parc de la Bombilla
- Edeta

Ilustración 210. Puntos de captación del río Turia.

### Manantiales-surgencias como punto de captación

Descartada la captación fluvial, el análisis hidrológico ofrece otra opción: el abastecimiento desde las descargas realizadas por el acuífero Llíria-Casinos. Las últimas investigaciones arqueológicas convergen hacia esta hipótesis. No hay evidencias absolutas sobre cuál podría ser dicho manantial, no obstante se plantean dos posibilidades: una que procediese de Sant Vicent, antigua fuente donde se encontraba el Templo de las Ninfas y otra que procediera de un afloramiento de agua caliente próximo al santuario de Mura, ubicado en el actual Parque de la Bombilla, como parecen indicar los restos de concreciones en el acueducto (Escrivà *et al.* 2001, 34)<sup>194</sup>.

La Font de Sant Vicent (o también denominada “manantial de l’Ull Redó”), se encuentra aproximadamente a 3 km al noreste del complejo oráculo-termal de Mura. Es el principal manantial que descarga las aguas del acuífero Llíria-Casinos, con un caudal anual de 14 hm<sup>3</sup> (IGME 1988, 100)<sup>195</sup>. Encaja con la tipología de manantial situado en el llano al que llegan las aguas subterráneamente desde las montañas, y por tanto se podría considerar un punto válido según Vitruvio. Se sitúa a una cota próxima a los 180 m.s.n.m., por lo que la pendiente para un acueducto desde aquí hacia Edeta hubiera sido aproximadamente del 0,35 %, cercano al valor de referencia de 0,5 % de Vitruvio.

Su utilización se remonta al menos a época romana, así lo atestiguan los vestigios del *Templum Nympharum* que perduraron hasta épocas recientes y llegaron a convivir durante muchos años con edificios religiosos cristianos, cumpliendo su función hasta el siglo XIX. Según Luis Martí Ferrando, cronista de Llíria, sus restos desaparecieron en una reforma efectuada en el manantial en 1898 (Escrivà 2010, V)<sup>196</sup>, aunque durante los años anteriores se describieron varios testimonios documentales de su estado.

En abril de 1759 un grupo de ciudadanos de Llíria, bajo la dirección de Manuel Civera, durante la realización de labores de limpieza en los manantiales retiraron una piedra que dificultaba la surgencia de l’Ull Redó, y resultó ser una lápida con una inscripción

---

<sup>194</sup> V. ESCRIVÀ TORRES, C. MARTÍNEZ CAMPS y X. VIDAL FERRÚS (2001). “Edeta kai Leiria: La ciutat d’Edeta de l’època romana a l’antiguitat tardana”, *Lauro. Quaderns d’història i societat*, 9. Llíria: M. I. Ajuntament de Llíria, Àrea de cultura. ISSN 0213-3776.

<sup>195</sup> INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1988). *Las aguas subterráneas en la comunidad valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización*. Madrid: IGME.

<sup>196</sup> V. ESCRIVÀ TORRES (2010). *Introducción a la Reedición de V. RIOS, JOSEPH. A los Edetanos, o a los hijos de Liria. Valencia, 1759*. (Ed. Facsímil, Paris-Valencia. Valencia, 1980). Valencia.

en latín<sup>197</sup>. El Dr. Joseph Roios la traduciría en agosto del mismo año revelando que conmemoraba la construcción, durante el siglo I d. C., del *Templum Nympharum*, un edificio monumental dedicado a las ninfas, diosas femeninas del agua. También indicaba que lo financiaron los edetanos Q. Sertorio Evporisto y su mujer Sertoria Festa, quienes lo erigieron junto al mayor manantial de "les fonts", en l'Ullal Mare, en honor de los edetanos (Escrivà 2010, II-III).



Ilustración 211. Inscripción conmemorativa de la construcción del *templum nympharum* encontrada en l'Ull Redó. (Consulta 05/2017: <https://sitibiterralevis.wordpress.com/2013/06/27/dedicatoria-de-un-templo-a-las-ninfas-en-edeta-hispania-citerior-tarraconensis/>).

<sup>197</sup> TEMPLVM NYMPHARVM / Q(VINCTVS) SERT(ORIVS) EVPORISTVS / SERTORIANVS ET SER(ORIA) / FESTA VXOR A SOLO / ITA VTI EXCVLPVM / EST IN HONOREM EDETANOR(VM) / ET PATRONORVM SVORVM / S(VA) P(ECVNIA) FECERVNT.

"Templo de las Ninfas. Quinto Sertorio Evporisto Sertoriano y Sertoria Festa, su mujer, lo han erigido a sus expensas desde los cimientos hasta su coronamiento en honor de los Edetanos y de sus propios patronos".

En 1806 el historiador y viajero francés Alexandre Laborde, visitó Lliria buscando restos romanos, atraído por el trabajo de Rios. En su libro *Voyage pittoresque et historique de l'Espagne* documentó los vestigios y levantó con la ayuda de sus delineantes el plano de la *Nymphea de Lyria*, a la cual adjudicó un pasado romano. Situó en el ábside de la construcción con la letra G, el hallazgo de la inscripción conmemorativa (Escrivà 2010).

Además, describió la calidad y abundancia del agua del manantial del siguiente modo:

“La fuente de la tierra, brillante y clara como el cristal: es tan abundante que después de atender el consumo doméstico de la ciudad, aún es suficiente para regar los campos y mover varios molinos.”

(Laborde 1820, II, 92)<sup>198</sup>

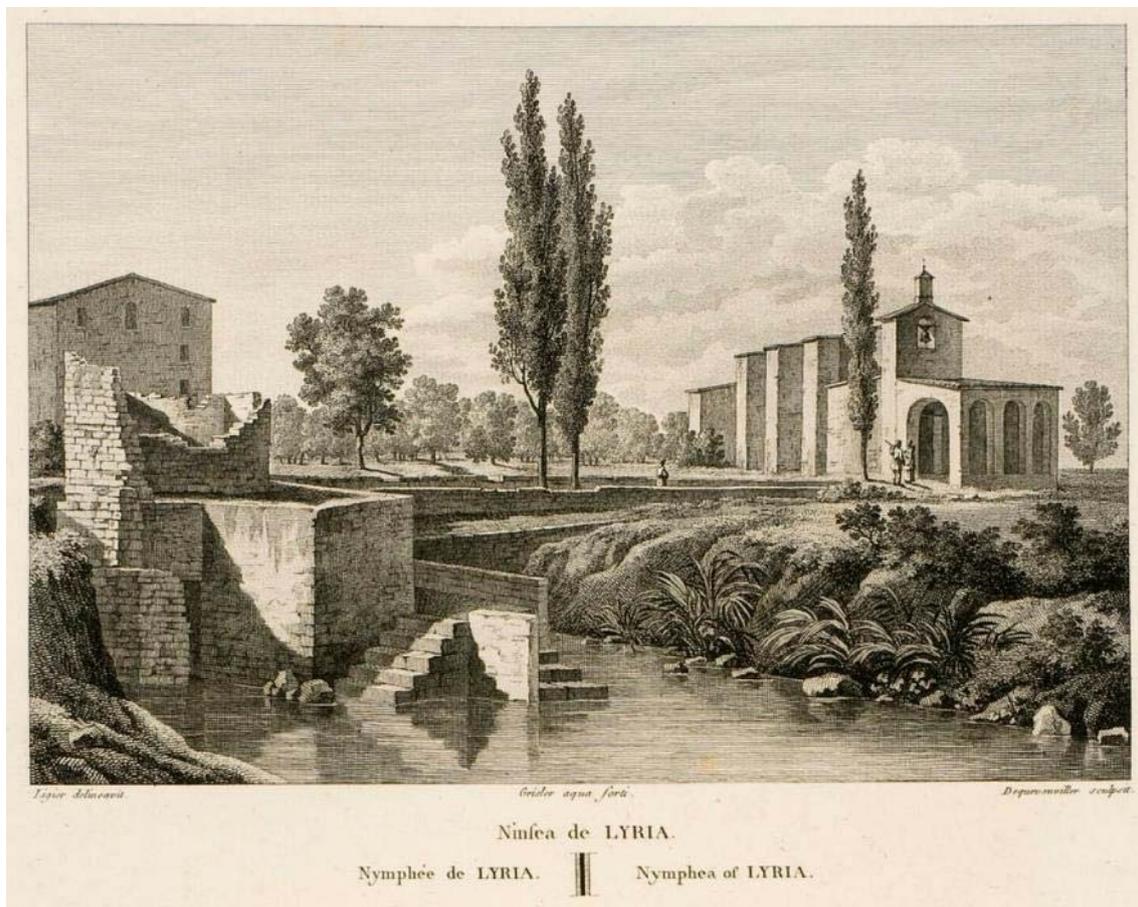


Ilustración 212. *Ninfea* de Lyria . Perspectiva (Laborde 1820, lám. CXVIII).

<sup>198</sup> A. de LABORDE (1820). *Voyage pittoresque et historique de l'Espagne*. vol. II. Description du Royaume de Valence, pp. 92-93 y lám. CXVIII-CXIX). París. Consulta: 05/2017: <http://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/Viajes/Comentadas2/detalleimagen5.html>

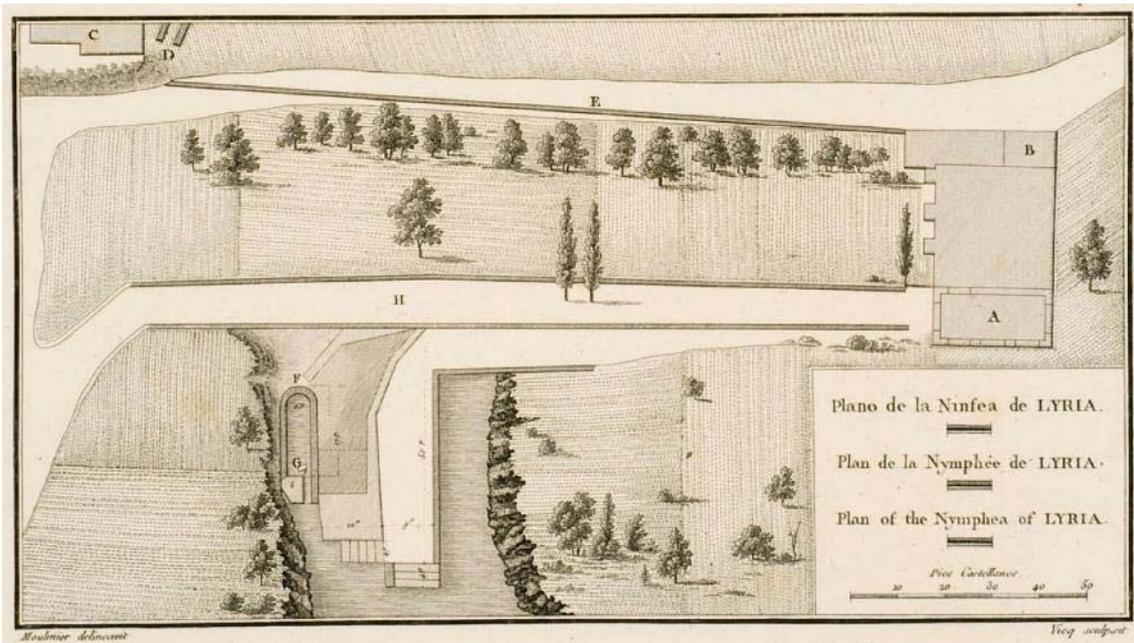


Ilustración 213. *Ninfea* de Lyria. Planta (Laborde 1820, lam. CXIX).

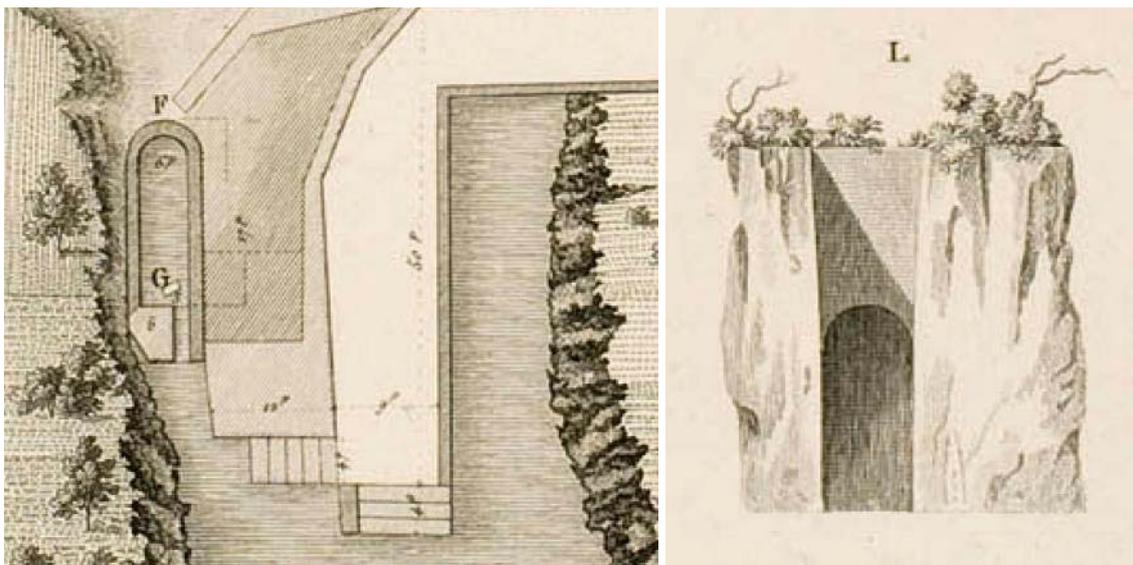


Ilustración 214. Detalle izq. *Ninfea* de Lyria. Planta donde se aprecia la ubicación de la inscripción conmemorativa hallada durante las labores de limpieza en 1759 (Laborde 1820, lám. CXIX.).

Ilustración 215. Detalle der. *Ninfea* de Lyria. Alzado donde se representa el acceso al ninfeo (Laborde 1820, lám. CVIII-CXIX, detalle L).

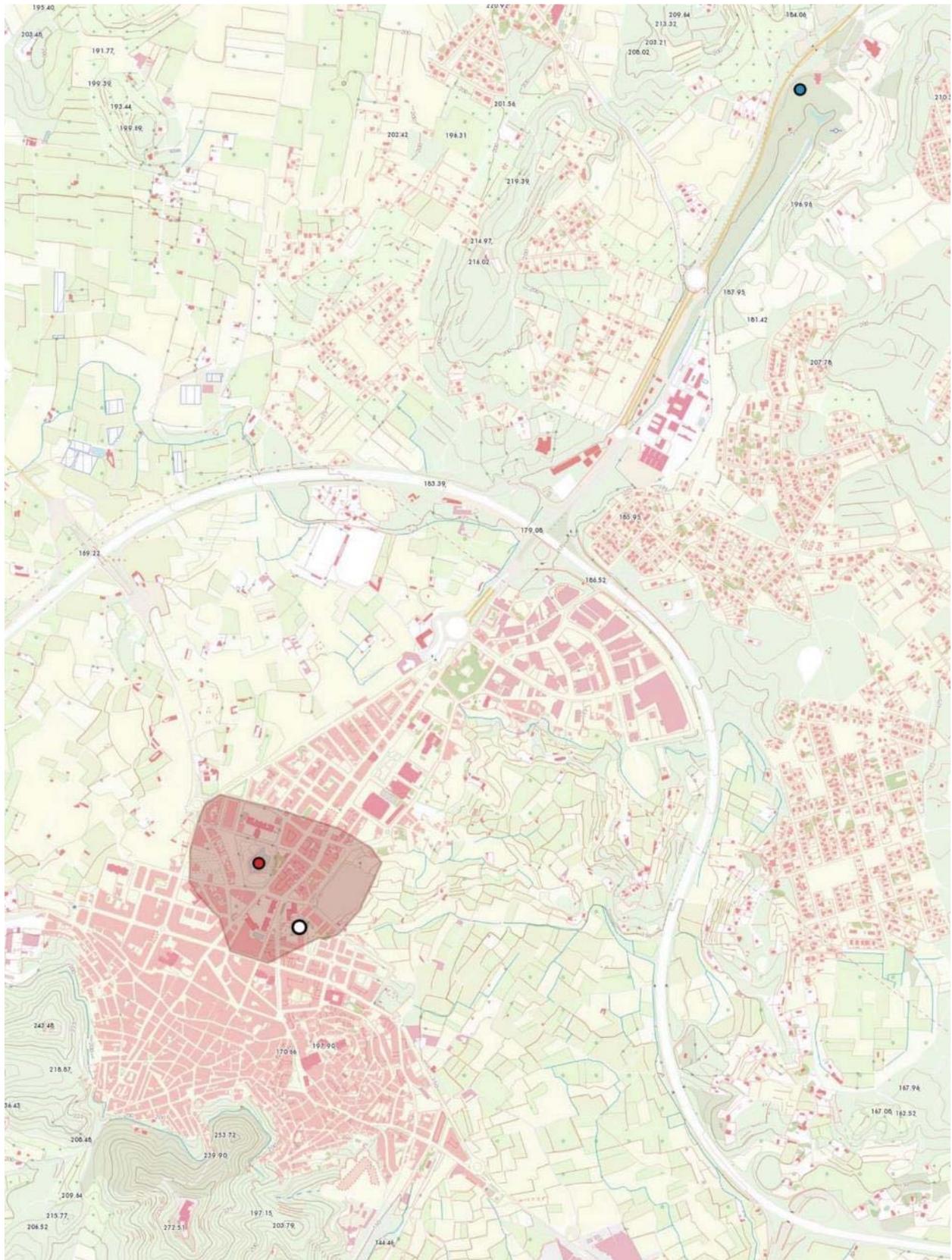
Como última posibilidad de captación de agua destinada al edificio de las termas de Mura, hay que mencionar el afloramiento de agua termal aparecido en el parque de la Bombilla. Durante las obras de urbanización del actual parque, gracias al seguimiento arqueológico realizado por los arqueólogos municipales Vicent Escrivà y Xavier Vidal, se encontraron evidencias de la posible existencia de una surgencia de aguas termales. En la actualidad esta fuente se encuentra agotada, pero el resto de concreciones calcáreas alrededor del punto de surgencia manifestaban una posibilidad real de afloramiento de agua termal. De haber estado en funcionamiento en época romana, su ubicación hubiera sido interior a la ciudad, a escasos 200 m de las termas de Mura, y a una cota aproximada de 171 m.s.n.m., por lo que su conducción hubiera contado con una pendiente muy próxima a 0,5 %. No se conservan vestigios de una captación romana, tampoco pruebas documentales de su explotación desde la antigüedad; sin embargo, las concreciones calcáreas aparecidas en el acueducto de abastecimiento de las termas de Mura podría señalar que sí pudo utilizarse este manantial termal (Escrivà *et al.* 2001, 34).



Ilustración 216. Estado actual del Manantial de Sant Vicent.



Ilustración 217. Reconstrucción virtual del templo de las Ninfas a partir de la información de las láminas de Laborde.



Il·lustració 218. Punt de captació. Manantials i surgències.

## Conclusiones

Finalmente, la captación desde una surgencia o manantial de aguas subterráneas en el llano es la opción más viable, siendo la hipótesis más aceptada la de un abastecimiento desde Sant Vicent. Además, todos los vestigios de su explotación desde tiempos romanos así parecen corroborarlo.

Independientemente de ello, el manantial produce en la actualidad un caudal de 14 hm<sup>3</sup> al año a pesar de que se extraen del acuífero mediante bombeos unos 18 hm<sup>3</sup>. Recientes estudios sobre variabilidad climática en Europa revelan que durante la época de construcción de las termas de Mura, 2<sup>a</sup> mitad del siglo I d. C., la media de precipitaciones era ligeramente superior a la actual, mientras que la temperatura media era de 2 a 3 °C inferior a la actual (Ulf Büntgen *et al.* 2011). Por tanto, el caudal producido en aquel periodo por el manantial de Sant Vicent debía ser superior o en todo caso similar, más aún, si se tiene en cuenta que en aquella época no se producían las extracciones por bombeo tan usuales hoy en día para el riego.

En los últimos años de vida de la ciudad de Roma, esta tenía un consumo de 250 litros de agua por habitante al día, de los cuales la mitad se destinaban a los baños públicos (Moreno 2007, 1). Conforme esto, con un caudal de 14 hm<sup>3</sup> anuales, podría abastecerse a una ciudad de unos 157.000 habitantes con un consumo similar al de Roma, con lo que era sobradamente capaz de abastecer una ciudad mediana como Edeta.

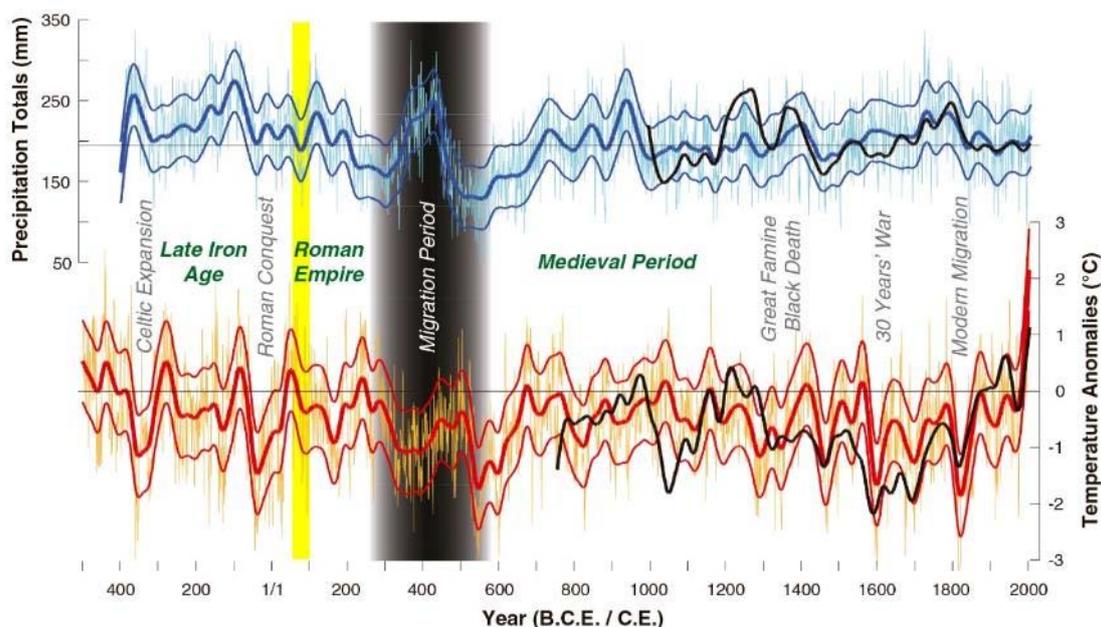


Ilustración 219. Precipitaciones totales y anomalías en la temperatura para un rango de 2.500 años. En amarillo la 2<sup>a</sup> mitad del siglo I d. C., momento de la construcción de las termas de Mura (Ulf Büntgen *et al.* 2011).

### 3.5.2. AQVAEDVCTVS DE LA CIUDAD ROMANA DE EDETA

El sistema de aprovisionamiento de agua para la ciudad de Edeta se efectuaba a través de la conducción hidráulica que recogía las aguas surgidas de los manantiales del Parc de Sant Vicent, en particular del llamado “manantial de l’Ull Redó”, donde se ubicaba el Templo de las Ninfas. Esta conducción, para ser funcional durante su recorrido hacia Edeta, tenía que salvar distintos desniveles del terreno, por lo que necesariamente debía alternar tramos de conducción a cielo abierto con otros subterráneos.

De finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX se tienen referencias de distintos espacios que en ocasiones se han identificado con cuevas o refugios y que en realidad se corresponden con tramos de conducciones hidráulicas, *aqvaeductvs*, que al cegarse pierden su linealidad y pasan a tener dimensiones de cueva u otros espacios de dimensiones reducidas.

Ya a principios de siglo XIX, Cristóbal de Sales, arquitecto mayor de la ciudad de Valencia, documenta y dibuja el trazado completo de “la azequia”, así como cada uno de sus pozos de registro y ventilación, que abastece Lliria desde el manantial de Sant Vicent, apreciándose durante el itinerario cómo la conducción pasa a discurrir de forma subterránea a la altura del Prat. Además, proyecta íntegramente un nuevo acueducto y diseña la caseta para la captación, conducciones, registros, aireadores, partidores, etc.

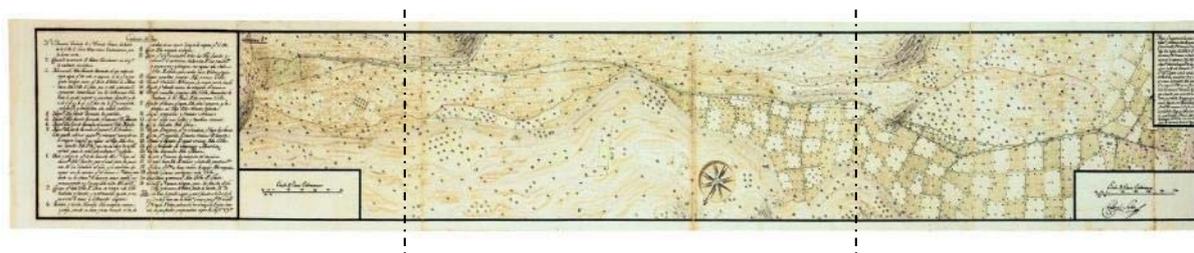


Ilustración 220. Cristóbal de Sales. Lámina 1ª. “Mapa que comprende la actual dirección y distancia de la azequia que cirve tanto para el consumo del riego de la huerta de la villa de Liria como para el de vever de su vecindario... desde el nacimiento de las aguas junto a la ermita de San Vicente Ferrer asta la entrada de dicha villa [...]”, 1800. (Sanchís *et al.* 2010, 38)<sup>199</sup>.

<sup>199</sup> F. J. SANCHÍS MORENO, A. GARCÍA GÓMEZ, J. V. RODRÍGUEZ I MUÑOZ, y M. J. RODRÍGUEZ MOLINA (2010). *Mapas y Planos (1678-1884)*. València: Diputació de València. Arxiu General i Fotogràfic.





La traza del conducto que describe Cristóbal de Sales coincide plenamente con las descripciones que el viajero francés Laborde daba en 1802, el cual se limitaba a decir sobre las cuevas que eran una mina hidráulica que llevaba a Lliria el agua potable, aunque dejando constancia de la conducción subterránea al describirla del siguiente modo:

El acueducto que conducía a Lyria es una construcción singular: se trata de un túnel excavado en la roca, e iluminado entre tramos por rejillas de ventilación y registros que marcan la dirección en la superficie del terreno [...].

(Laborde 1806-1820, II, 92)

Posteriormente, en 1832, el historiador Ceán-Bermúdez examinó los restos y atribuyó la autoría romana al acueducto y a la conducción de aguas subterráneas de Lliria (Ceán-Bermúdez 1832, 87)<sup>200</sup>.

En 1896 la boca de entrada de esta galería subterránea aún se observaba en el extremo sur del Prat a unos 25 metros de la carretera de Sant Vicent, contigua al Barranc de Capellans. La galería tenía 1 m de altura por 60-80 cm de anchura, y quedaba la clave de su bóveda a unos tres metros bajo el suelo. Su trazado, cierto y conocido, se extendía desde el Prat hasta el corral de Patricio Portolés, sito en el actual Pla de l'Arc, entre la avenida dels Furs y la calle del Pla de l'Arc. Su trayecto tenía aproximadamente 1 km de longitud y su trazado era el siguiente: desde su comienzo o boca de entrada en el Prat, seguía un trayecto rectilíneo, primero bajo un terreno erial y luego bajo campos de algarrobos, pero antes de llegar al Mulló del Pla de l'Arc cruzaba el camino de Sant Vicent, desde donde discurría a unos cuatro metros del citado camino y paralelo a él hasta llegar al corral de Patricio Portolés. De trecho en trecho cada 80-100 m tenía un pozo vertical, llamado "cova", de ahí el nombre por el que eran conocidos. Se utilizaban para registro y como puntos de ventilación, además de servir durante su construcción para extraer los materiales de enruna o desescombros y durante su empleo para facilitar su monda y limpieza. A partir del corral de Patricio su trazado ya no es conocido con tanta exactitud, aunque se sabe que pasaba próximo a Ca'n Porcar, cruzaba la acequia mayor y a ocho metros del puente de la Beata, había una torre de ventilación del agua (Durán 1995)<sup>201</sup>.

---

<sup>200</sup> J. A. CEÁN-BERMÚDEZ (1832). *Sumario de las Antigüedades Romanas que hay en España, en especial las pertenecientes a las Bellas Artes*. Madrid. Consulta: 05/2017: [https://books.google.es/books?id=nx11BZHBDkQC&pg=PA87&lpg=PA87&dq=cean+bermudez+liria&source=bl&ots=30tBOFXhsP&sig=LK9fIIUffx1GQYc50uwrcUXCjho&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwjs\\_d-w-4XUAhUJ2xoKHSpaCjcQ6AEIjAA#v=onepage&q=cean%20bermudez%20liria&f=false](https://books.google.es/books?id=nx11BZHBDkQC&pg=PA87&lpg=PA87&dq=cean+bermudez+liria&source=bl&ots=30tBOFXhsP&sig=LK9fIIUffx1GQYc50uwrcUXCjho&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwjs_d-w-4XUAhUJ2xoKHSpaCjcQ6AEIjAA#v=onepage&q=cean%20bermudez%20liria&f=false)

<sup>201</sup> J. DURÁN (1995). *Perfiles, glosas y siluetas de mi tierra*. Lliria: Ayto. de Lliria.

En 1887, siendo alcalde Juan Izquierdo y con el fin de traer directamente el agua potable desde el manantial de Sant Vicent, se metió una cañería cerámica para conducir el agua por dentro de *les coves* y se taparon las antiguas bocas de ventilación o pozos, perdiendo la memoria histórica de este trazado, tan vital para la historia de los edetanos.

No obstante, en 1920 cuando Vicente Gandía construyó los cubos y su almacén de vinos, se documentaron restos de una galería subterránea, según indica Teodoro Izquierdo en un artículo de *Las Provincias*.

Las intervenciones arqueológicas efectuadas en los últimos años en la zona del Pla de l'Arc han permitido contrastar y verificar las noticias históricas que se tenían sobre este acueducto subterráneo. Así, durante el seguimiento arqueológico efectuado en el solar sito entre la calle Pla de l'Arc, y la avenida dels Furs a la altura de la calle López Varela (Vidal 2007)<sup>202</sup>, se pudieron documentar 26,85 m de una conducción subterránea de 1,70 m de altura y una anchura de 60 cm que coincide plenamente con la descrita en la documentación del siglo XIX.

Esta galería subterránea discurre por en medio de las dos calles citadas, concretamente a 10,35 m de la línea de fachada de la avenida del Furs y a 19,4 m de la calle Pla de l'Arc, a una profundidad respecto de la cota de calle actual de 1,7 m con una ligera pendiente hacía la ciudad de Lliria. La galería está excavada en el nivel geológico perteneciente a calizas lacustres con tubos de algas del Terciario, rocas blandas fácilmente trabajables. En las paredes de la misma se pueden observar las líneas oblicuas que dejaron las herramientas utilizadas en su excavación. El cajero o *specvs* en forma de U de la conducción hidráulica está excavado también en el nivel geológico, y tiene una anchura de 40 cm ya que a ambos lados del mismo se deja un reborde de unos 10 cm para crear una especie de márgenes que permitieran el tránsito por el interior de la conducción para operaciones de limpieza y mantenimiento. Es curioso observar cómo en las paredes de la galería, prácticamente en la bóveda y a distancias regulares, se han documentado pequeños rebajes, de 15 cm de profundidad, posiblemente para depositar una luminaria. Por técnica constructiva y por similitud con otras construcciones subterráneas documentadas en Edeta, caso de las canalizaciones de las *Domus* de Mura (Vidal 2008)<sup>203</sup>

---

<sup>202</sup> X. VIDAL FERRÚS (2007). *Informe-memoria de la intervención arqueológica efectuada en el solar del carrer Pla de l'Arc esquina López Varela Avda. Furs*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.

<sup>203</sup> X. VIDAL FERRÚS (2008). *Informe-memoria de la intervención arqueológica efectuada en el solar del CEIP Sant Vicent de Lliria*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.

o en la zona del Pla de l'Arc (Vidal 2010)<sup>204</sup>, esta galería podría datarse en época romana, aunque se debe señalar que en su interior no se documentó ningún material arqueológico que permitiera confirmarlo. Eso sí, se corroboró la noticia de que en 1887 el alcalde J. Izquierdo ordenó colocar una cañería cerámica por dentro de *les coves*, puesto que ocupando la totalidad del *specvs* de la conducción se observa una tubería de cerámica vidriada que podría corresponderse con la cañería antes citada.



Ilustración 222. Conducción subterránea. Tramo bajo calle Manuel López Varela.

Ilustración 223 Conducción subterránea. Tramo bajo calle Manuel López Varela. Detalle-Sección.

Ilustración 224. Conducción subterránea. Tramo bajo calle Manuel López Varela. Vista interior.

En otro solar entre la avenida dels Furs y la calle Pla de l'Arc (Escrivà *et al.* 2004)<sup>205</sup> se localizó un nuevo tramo de 11 m de longitud de una canalización a cielo abierto excavada en el nivel geológico con una anchura de 60 cm y una profundidad de 80 cm que discurre en la misma dirección que la galería subterránea descrita anteriormente. Este tramo de canalización también albergaba, ocupando todo el *specvs*, una tubería cerámica vidriada. No se ha documentado en su interior restos arqueológicos que permitieran datar con exactitud el acueducto, no obstante, y al igual que en el caso anterior, permite confirmar la noticia del periódico *Las Provincias* de 1920

---

<sup>204</sup> X. VIDAL FERRÚS (2010). *Informe-memoria de la intervención arqueológica efectuada en las obras de urbanización de la U.E. 10B*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.

<sup>205</sup> V. ESCRIVÀ TORRES, C. MARTÍNEZ CAMPS y X. VIDAL FERRÚS (2004). *Informe-memoria de la intervención arqueológica efectuada en el solar de la Avda. del Furs 24*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.

que mencionaba la localización de una galería cuando se construyeron las bodegas de Gandía.

### Estimación de caudal

Se procede a comprobar la viabilidad del *specus* (40 × 50 cm, pendiente aprox. 0,35 %) hallado entre la avenida dels Furs y la calle Pla de l'Arc como *aquaeductus* principal para el abastecimiento de la ciudad romana de Edeta.

Para ello se emplea la fórmula de Manning para caudales (Chow *et al.* 1994)<sup>206</sup>:

$$Q(h) = \frac{1}{n} * \frac{A(h)^{5/3}}{P(h)^{2/3}} * S^{1/2}$$

Ecuación 1. Caudal del agua

$$V(h) = \frac{1}{n} * \left( \frac{A(h)}{P(h)} \right)^{2/3} * S^{1/2}$$

Ecuación 2. Velocidad media del agua

Donde

**Q(h)** = Caudal del agua en m<sup>3</sup>/s

**V(h)** = Velocidad media del agua en m/s

**A(h)** = Área mojada, en m<sup>2</sup>

**P(h)** = Perímetro mojado, en m

**n** = Coeficiente de rugosidad de la pared

**S** = la pendiente de la línea de agua en m/m

El caudal y la velocidad, para una carga del 100 % del *specus*

$$A(h) = (\text{base} \times \text{profundidad de flujo}) 0,4 \times 0,5 = 0,2 \text{ m}^2$$

---

<sup>206</sup> V. TE CHOW, D. R. MAIDMENT y L. W. MAYS (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá. Editorial Nomos S.A.

$$P(h) = 2 \times 0,5 + 0,4 = 1,4 \text{ m}$$

$$n = 0,04 \text{ (specvs excavado en roca rugosa con márgenes escalonados)}$$

$$S = 0,0035 \text{ m/m (0,35 \%)}$$

$$Q(h) = 0,08 \text{ m}^3/\text{s (80,84 l/s)} ; V(h) = 0,4 \text{ m/s}$$

El caudal y la velocidad, para una carga del 80 % del *specvs*

$$A(h) = 0,4 \times 0,4 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$P(h) = 2 \times 0,4 + 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

$$n = 0,04 \text{ (specvs excavado en roca rugosa con márgenes escalonados)}$$

$$S = 0,0035 \text{ m/m (0,35 \%)}$$

$$Q(h) = 0,06 \text{ m}^3/\text{s (61,76 l/s)} ; V(h) = 0,39 \text{ m/s}$$

El caudal y la velocidad, para una carga del 50 % del *specvs*

$$A(h) = 0,4 \times 0,25 = 0,1 \text{ m}^2$$

$$P(h) = 2 \times 0,25 + 0,4 = 0,9 \text{ m}$$

$$n = 0,04 \text{ (specvs excavado en roca rugosa con márgenes escalonados)}$$

$$S = 0,0035 \text{ m/m (0,35 \%)}$$

$$Q(h) = 0,03 \text{ m}^3/\text{s (34,18 l/s)} ; V(h) = 0,34 \text{ m/s}$$

El caudal y la velocidad, para una carga del 25 % del *specvs*

$$A(h) = 0,4 \times 0,125 = 0,05 \text{ m}^2$$

$$P(h) = 2 \times 0,125 + 0,4 = 0,65 \text{ m}$$

$$n = 0,04 \text{ (specvs excavado en roca rugosa con márgenes escalonados)}$$

$$S = 0,0035 \text{ m/m (0,35 \%)}$$

Por tanto,

$$Q(h) = 0,01 \text{ m}^3/\text{s (13,38 l/s)} \text{ y } V(h) = 0,27 \text{ m/s}$$

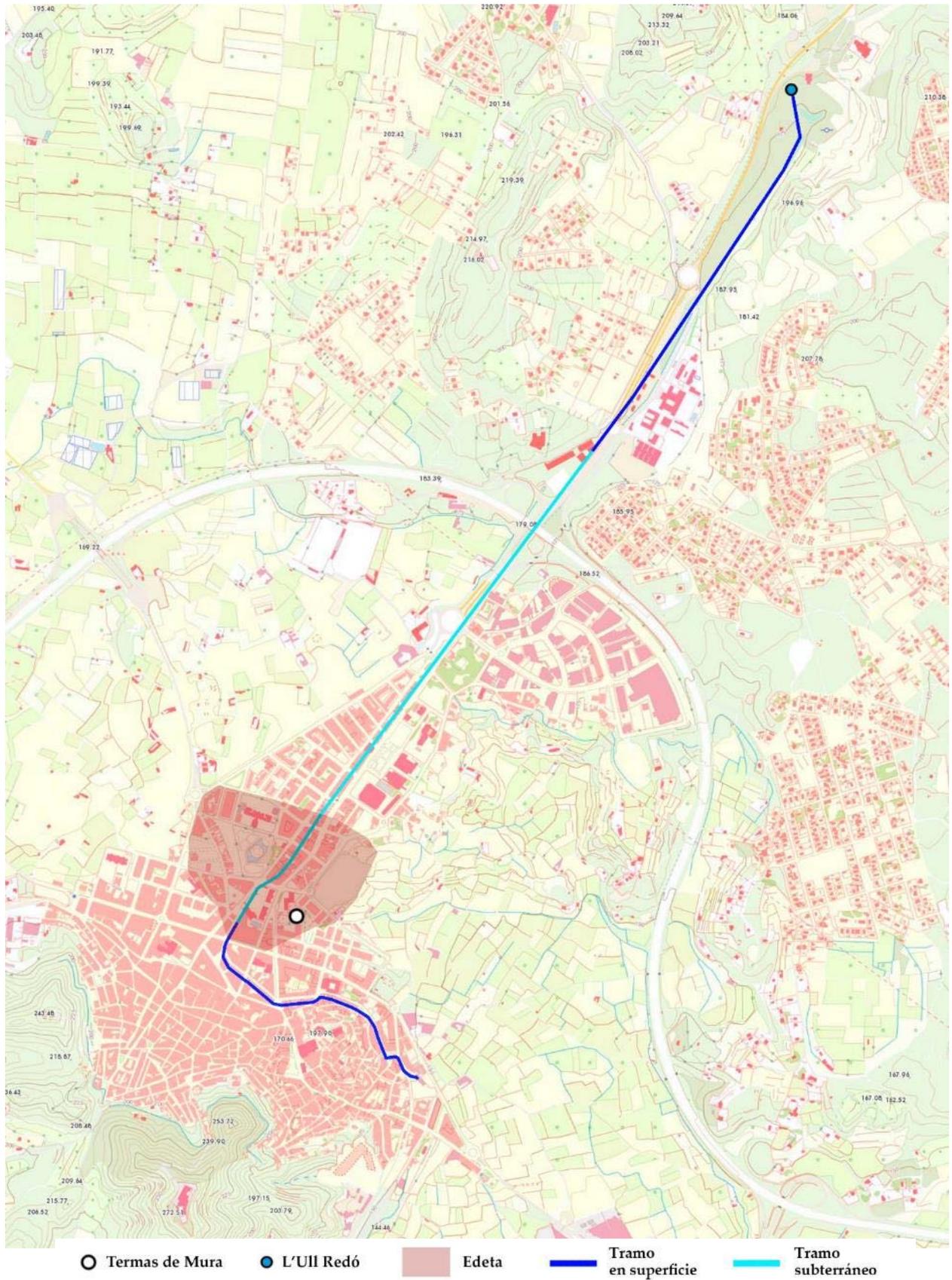


Ilustración 225. Acueductos de suministro a la ciudad de Edeta.

### 3.6. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LAS TERMAS MAYORES DE MURA

#### 3.6.1. Acometida

La derivación desde el *aquaeductus* principal que abastece las termas de Mura debía suceder a la altura del actual parque de la Bombilla, una vez pasada la conocida *domus* romana de Ca'n Porcar.



Ilustración 226. Derivación hacia las termas de Mura.

Se localizó y documentó un tramo de conducción subterránea en la esquina de la calle del Pla de l'Arc y la calle del alcalde Josep Pérez Cotanda, que parece cumplir esta función. El tramo tiene unos 15 m, pero solo se documentan los extremos de cerca de 3 m de longitud cada uno, ambos con un ancho de unos 60-70 cm, con pendiente en dirección hacia las termas de Mura.

El tramo que da a la calle del Pla de l'Arc, se encuentra completamente excavado en el terreno, con una altura de 90 cm desde la parte superior del *specvs* hasta el arranque de la bóveda, y de 120 cm hasta la clave, situada unos 30-40 cm por debajo del nivel geológico, que se encuentra a unos 172 m.s.n.m. El *specvs* cuenta con una dimensiones similares al del acueducto: 50 cm de profundidad por 40 cm de ancho con unos márgenes laterales de unos 10 cm para recorrer la canalización durante registros y mantenimiento.



Ilustración 227. Conducción subterránea. Tramo que recae a la calle del Pla de l'Arc. Vista superior.

Ilustración 228. Conducción subterránea. Tramo que recae a la calle del Pla de l'Arc. Vista interior.

El segundo tramo, recayente sobre la calle del alcalde Josep Pérez Cotanda, también está excavado y presenta un tramo semienterrado. No obstante, la distancia desde el *specvs* hasta su cubrición es de 80 cm. En este caso la cubrición parece adintelada y se halla a cota del nivel geológico.

Unos 60 m después del tramo de la calle del alcalde Josep Pérez Cotanda, la conducción pasa a estar a cielo abierto, haciéndose visible en el perímetro excavado de las termas de Mura, a unos 167-168 m.s.n.m.



Ilustración 229. Conducción excavada. Tramo recayente a la calle de Josep Pérez Cotanda. Vista superior.

Todos los tramos aéreos del santuario termal se resuelven igual: adoptando una solución en la que sillares rectangulares, de unos 60-70 cm de ancho por 1,6-2 m de longitud con un canto de unos 50 cm, apoyan sus extremos sobre machones, hechos de mampuestos y sillares. Estas piezas son del mismo material que el estrato geológico: calizas lacustres con gran cantidad de restos de tubos de algas, muy fáciles de tallar. En estos sillares se hace el cajeadado para el *specus*, de sección trapezoidal, con una base inferior de unos 15 cm, base superior de 18 cm y altura de 15 cm. Debió de estar revestido con un *opus signinum*, como ocurre en otros tramos pendiente abajo, próximos a las termas menores. No se conservan restos de cubierta, aunque fácilmente estaría protegido por medio de algún tipo de bóveda o losa. La misma solución técnica se continúa utilizando en el

tramo de conducción aérea que rodea las termas por el noreste y que se dirige hacia las termas menores para abastecerlas.

En la acometida solo se conservan los machones de apoyo, no obstante, el acueducto llevaba las aguas hasta un distribuidor-partidor ubicado unos 4 m al norte de la piscina del *frigidarium* y, desde aquí, se bifurcaba para abastecer las distintas zonas del complejo termal.



Ilustración 230. Conducción aérea. Acometida. Machones de apoyo (saliendo del terraplén) y distribuidor-partidor (en primer plano).



Ilustración 231. Conducción aérea. Acometida. Machones de apoyo saliendo del terraplén.

### 3.6.2. Distribución

Una vez que la conducción llega al distribuidor-partidor, del que solo se conserva su basamento, de  $1,5 \times 1,7$  m, se bifurca en dos sentidos: hacia el noreste y hacia el suroeste, rodeando perimetralmente las termas mayores. Desde el partidor, también arrancaba en dirección sur el conducto que abastecía la piscina del *frigidarium*.

En dirección noreste, la conducción avanza hasta alcanzar otro distribuidor a escasos 12 m de distancia, desde el que surgía la derivación hacia el depósito-cisterna que abastecía las termas masculinas. Continuando en la misma dirección llega hasta la esquina noreste de las termas mayores, donde el conducto gira hacia el sureste bordeando el *caldarium* y prosiguiendo calle abajo hacia las dependencias termales menores. Todo este tramo sigue siendo aéreo y mantiene el mismo sistema constructivo descrito para la acometida.



Ilustración 232. Conducción aérea. Acometida. Machones de apoyo. En la esquina inferior derecha se encuentran los muros de apoyo del depósito cisterna.



Ilustración 233. Conducción aérea. Tramo frente al ventanal del *caldarium*.



Ilustración 234. Distribuidor-partidor (centro), hacia la izquierda la conducción aérea, hacia la derecha la conducción a ras de suelo.



Ilustración 235. Conducción aérea rodeando las termas, desde la acometida al distribuidor (esquina superior izq.) hasta el contrafuerte del ábside del *caldarium* (esquina inferior der.).

En dirección suroeste, desde el distribuidor-partidor, continúa un tramo superficial, a cota de calle, hasta llegar a la esquina del acceso principal de las termas masculinas, aquí gira hacia el sureste bajando por la calle de las termas. Esta canalización repite el mismo sistema constructivo que el tramo de acometida y la derivación hacia el noreste, pero apoya directamente sobre el nivel geológico, sin utilizar machones, el conducto se reviste con *opus signinum* y se cubre por medio de ladrillos cerámicos dispuestos a modo de losa. El mortero *signinum* presenta una impronta con forma cilíndrica. Esta huella permite pensar que la conducción estaría entubada, más aún cuando su diámetro es semejante al de las tuberías de plomo encontradas dentro de las termas mayores. En tal caso con toda probabilidad tendríamos una conducción a presión. Esta canalización que baja por la calle de las termas, abastecería la *natatio* de la palestra, la zona del santuario oracular y el *hospitium*, y alcanzaría también el acceso principal de las termas menores.



Ilustración 236. Conducción a cota de calle. Al norte de la *basilica thermarum*, antes de girar la esquina.



Ilustración 237. Conducción a cota de calle. Al oeste de la *basilica thermarum*, después de girar la esquina, bajando por la calle de las Termas.

Volviendo a la conexión del acueducto con las termas mayores, del depósito-cisterna solo se conservan los muros de sillería donde se apoyaba. Estos muros describen un recinto de unos  $3,5 \times 5$  m en planta, donde se situaba sobreelevado y ocupaba todo el espacio entre el acueducto y el muro noroeste de la sala de los *prae-furnium*. Desde él, se derivaban las aguas hacia el depósito-caldera que se ubicaba dentro de la sala de los

hornos, apoyaba sobre la base de  $2,1 \times 1,2$  m situada entre los dos *praeformium* que calentaban el *hypocaustum* del *caldarium*. Desde aquí se abastecía el *alveus* situado sobre el *praeformium* principal, al igual que la caldera *testudo* del otro *alveus* de mayor tamaño.

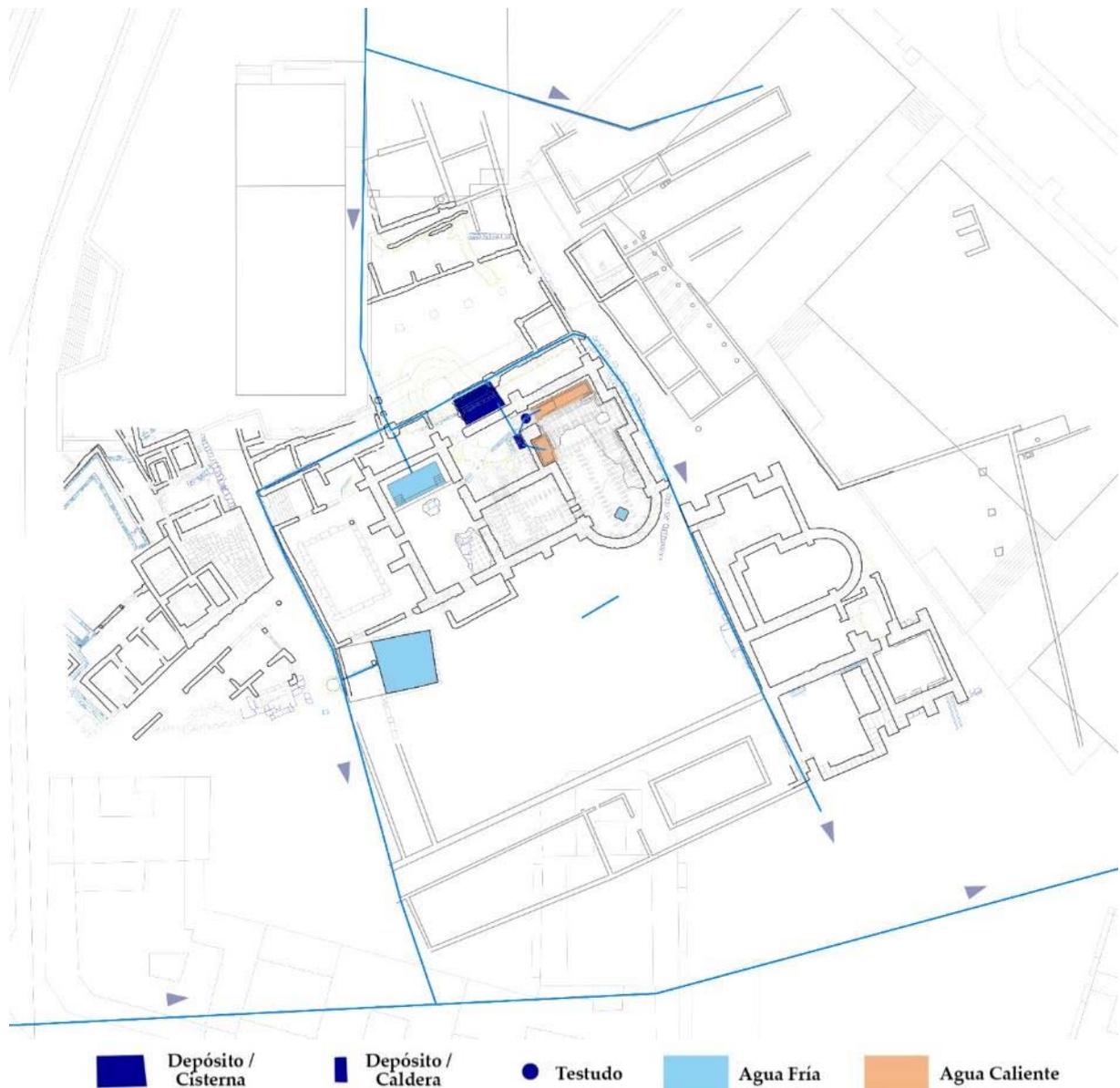


Ilustración 238. Termas mayores de Mura. Esquema: acometida y distribución de agua.



Ilustración 239. Termas mayores de Mura. Esquema: Acometida y distribución de agua.

### 3.7. EVACUACIÓN DEL AGUA EN LAS TERMAS MAYORES DE MURA

Existen dos redes de evacuación desde las termas masculinas, una exterior al recinto termal y otra interior.

#### 3.7.1. Red exterior

La red se encuentra parcialmente excavada en el nivel geológico, con un ancho y profundidad variables.

Se inicia bajo el primer distribuidor-partidor al que llega la acometida y desde aquí se conduce hacia el noreste discurriendo de forma totalmente paralela a la conducción aérea de agua limpia, entre esta y el muro noroeste de la sala de los hornos y del *caldarium*, centrada en la franja de 3,6 m de ancho que queda entre ambos elementos. A su paso bajo el *castellum aquae* tiene un ancho de canal de unos 30-40 cm y una profundidad aproximada de 10 cm. A ambos lados de la canalización las superficies tienen una pendiente para recoger y reconducir las aguas hacia ella. De este modo avanza hacia la esquina del *caldarium* pasando por debajo de los muros de apoyo del depósito-cisterna hasta llegar al cerramiento de la esquina y atravesarlo de igual modo.



Ilustración 240. Conducto de evacuación a su paso bajo el recinto del depósito-cisterna.

A partir de la esquina, la conducción se ubica a ras de suelo justo bajo la conducción de agua limpia, dándose el caso de que algunos de los machones, sobre los que apoya el conducto de abastecimiento, están perforados creando un cajeadado para facilitar el tránsito de este conducto de evacuación.

Tras llegar a la altura del contrafuerte del ábside del *caldarium*, el conducto de evacuación pasa a discurrir subterráneamente tomando una dirección sur hacia la palestra.

Esta red servía para vaciar y recoger fundamentalmente las aguas sobrantes del depósito-cisterna y posiblemente las pérdidas o fugas del acueducto de abastecimiento.



Ilustración 241. Conducto de evacuación a ras de suelo, bajo la conducción aérea de agua limpia.

### 3.7.2. Red interior

La red se inicia en el macizo donde apoya el depósito principal de la sala de hornos, en este se construye una canalización con forma de serpentín que serviría para recoger el agua residual proveniente del vaciado del depósito durante operaciones de limpieza y mantenimiento, así como también el agua excedente de su abastecimiento continuo.

El serpentín se conecta con otra canalización, elevada sobre la cota del suelo de unos 7,5 m de longitud que atraviesa diagonalmente la sala de los hornos. Desde su inicio desciende unos 80-90 cm hasta tener su último tramo excavado en el terreno. El canal para conducir las aguas tiene unos 12-15 cm de ancho por unos 15-20 cm de profundo. Finalmente se dirige hacia la puerta de conexión entre el *frigidarium* y la sala de los hornos donde finaliza por debajo del umbral conectando con la *cloaca* que atraviesa las termas mayores.

A este mismo conducto diagonal se conecta también el depósito-caldera *testudo*, para permitir su vaciado, así como arrojar los excedentes del mismo.



Ilustración 242. Canalización con forma de serpentin y canalización lineal hacia la cloaca.



Ilustración 243. Canalización lineal en dirección hacia la cloaca.

La *cloaca* se inicia bajo la puerta entre el *frigidarium* y la sala de hornos, tiene sección rectangular, de unos 70 cm de ancho por 1,1 m de alto, está excavada, de modo que su borde superior queda a ras del nivel geológico y se cubre por medio de losas de piedra contiguas a modo de dinteles. También son de caliza lacustre con tubos de alga, con un canto de unos 40-50 cm, a excepción de las ubicadas bajo el muro de fachada a la *palestra*, que son del mismo material con que se hace la base de *opus coadratum* de todos los muros: un tipo de calizas locales más densas y resistentes, que aparecen por encima del estrato geológico donde se ubican las calizas lacustres con tubos.



Ilustración 244. Conducción de las aguas de la sala de hornos acometiendo la cloaca.

La *cloaca* tiene una pendiente media del 2 al 3 % en dirección sur reduciendo su altura debido al mayor desnivel que presenta el nivel geológico en ese punto. En ocasiones, para mantener la altura de su sección interior, se suplementan los bordes con muros de mampostería hasta la cota del apoyo de las losas que cubren el canal.

El recorrido sigue pasando por debajo del hipocausto del *apodyterium* y en este punto le acomete otro ramal semejante al de la *cloaca* que sirve para recoger las aguas de la piscina del *frigidarium*, a este ramal también vierte aguas el canal de evacuación proveniente de la *tabernae* ubicada en la *basilica thermarum*.

Tras esta conexión, la *cloaca* continúa casi 7 m dirección sur pasando bajo las *letrinas* donde conectaría con ellas, unos 9 m después gira hacia el oeste para conectar con el desagüe de la *natatio* de la *palestra*. En este punto se produce un salto en el suelo del ramal que parte de la *natatio* ya que se encuentra a una cota inferior, unos 90 cm más abajo que el suelo del ramal que llega desde las termas. Su anchura, sin embargo, se reduce hasta los 60 cm y su altura aumenta hasta los 1,8-1,9 m. Tras esto continúa en dirección sur buscando la *cloaca maxima*.

La *cloaca* conducía un flujo continuo de agua proveniente del excedente del abastecimiento de los depósitos y calderas, así como de la piscina del *frigidarium*, que hacía posible la limpieza y funcionamiento de las *letrinas*; regulando el flujo de agua saliente de los depósitos, *alvevs*, piscina y *natatio* se facilitaba la limpieza de la *cloaca*.



Ilustración 245. Desagüe de la piscina del *frigidarium* a la cloaca.



Ilustración 246. Desagüe de la piscina del *frigidarium* a la cloaca.



Ilustración 247. Embocadura de las letrinas con la cloaca. Vista cenital de las losas que cubren el conducto. Punto donde cambia el tipo de losas y material de la roca.



Ilustración 248. Embocadura de las letrinas con la cloaca. Vista desde la palestra.



Ilustración 249. Conexión entre ramales de la sala de hornos y *frigidarium*. Vista exterior.



Ilustración 250. Conexión entre ramales del *frigidarium* (izq.) y la sala de hornos (der.). Vista interior.

La *cloaca maxima*, o colector principal, es una conducción hidráulica subterránea de gran tamaño, de unos 80 cm de anchura y de altura similar al ramal que parte de la *natatio*, que se documentó en la actuación arqueológica efectuada en 1990-1991 durante las obras de urbanización de la U.E. 5 de Lliria (Gómez *et al.* 1991, 96)<sup>207</sup> y que, posiblemente, delimita por el sur el perímetro urbano. Discurre paralela a escasos 3,5 m del muro sureste de la *basilica thermarum* de las termas menores. La pendiente es igual a las de los otros conductos y sigue la dirección este llevándolas fuera del *pomerium* de la ciudad.

El sistema de vaciado de los *alvevs* presenta ciertas singularidades bastante ingeniosas. El de mayores dimensiones es el del *caldarium*. En la actualidad todavía se conserva una tubería de plomo en su base que permitiría un vaciado hacia el interior de la sala, es decir, un vaciado controlado sobre el suelo de losetas romboidales que conforma la *suspensora*. Este pavimento tiene una capa muy gruesa de mortero bajo la superficie cerámica que podría absorber gran cantidad de agua hasta llegar a la saturación, agua que en gran medida se evaporaría debido al calor circulante bajo la *suspensora* y provocaría un vapor y una sensación de humedad mayor. Muy probablemente sucedería lo mismo con el otro *alvevs* situado sobre el *praeformium* principal de esta misma sala, y con el *labrum*. No hay restos de canalizaciones desde los *alvevs* hacia el sistema de evacuación que parte de la sala de hornos, no obstante, hubiera sido muy viable su vertido hacia la *cloaca* interior. Por último, el *labrum* evacuaba sus aguas directamente al suelo del *hypocaustum*, ya que este filtraba el agua rápidamente por su naturaleza porosa, no se descarta que la *suspensora* tuviera también orificios para evacuar también hacia el

<sup>207</sup> J. GÓMEZ ROS, F. MARIMÓN, F. MARTÍNEZ y A. SABATER PÉREZ (1991). "Excavacions al nucli urbà de Lliria: zona Gerard Ferrando", en *Primer Congrès d'Estudis Comarcals del Camp de Túria*, pp. 95-101. ISBN: 84-87693-31-8.

*hypocaustum* el agua residual que desde los *alveus* pudiera estancarse sobre los orificios tras vaciarlos.

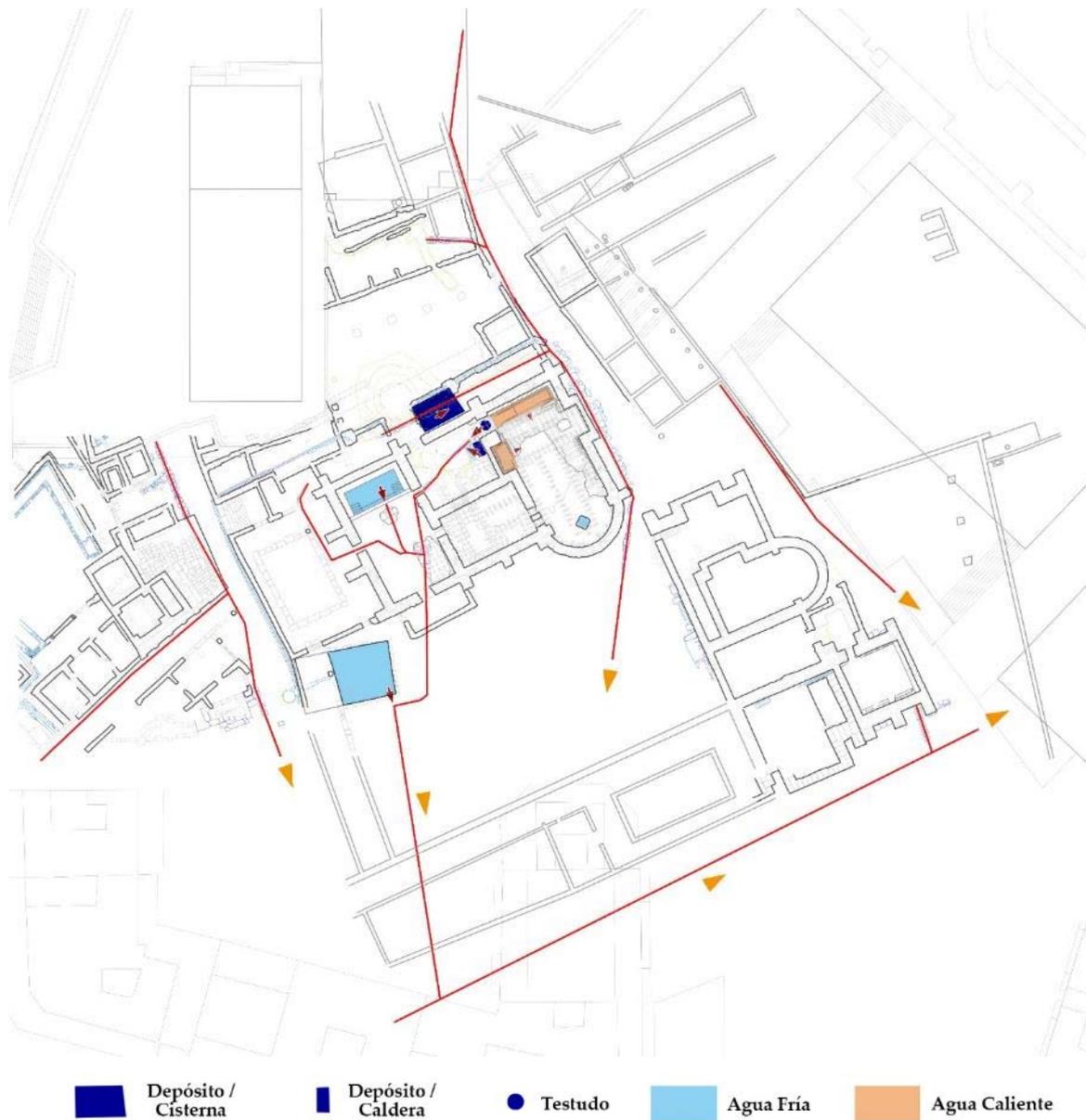


Ilustración 251. Termas mayores de Mura. Esquema: evacuación de agua.

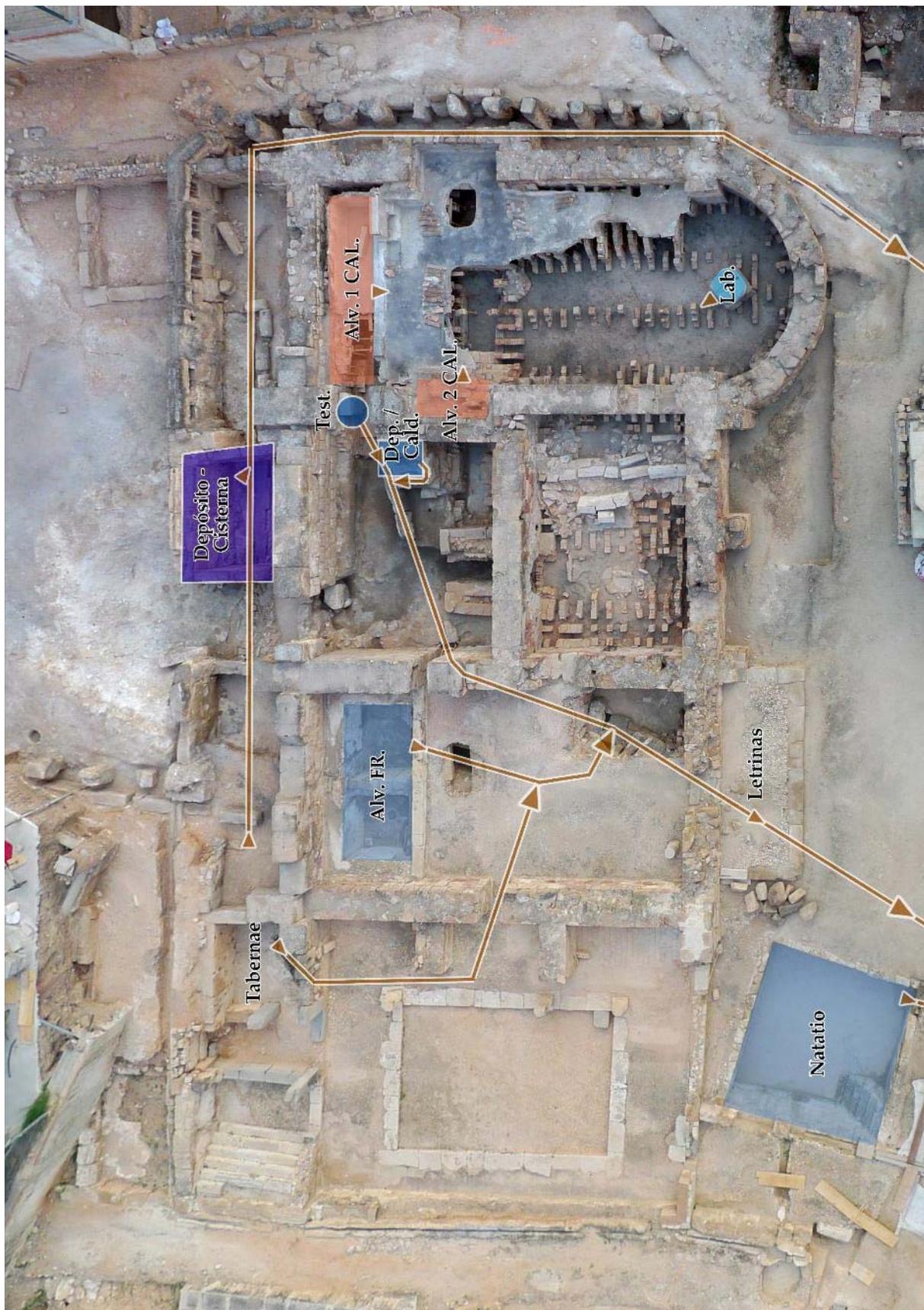


Ilustración 252. Termas mayores de Mura. Esquema: evacuación de agua.

## 4. EL SISTEMA TÉRMICO

### 4.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE CALOR, TRANSMISIÓN DE CALOR Y TERMODINÁMICA

El calor es el elemento esencial para que una terma pueda ser funcional y cumplir con la misión para la que fue construida. En la actualidad, se tienen al alcance muchas formas de aportar energía térmica a los edificios, pero en la antigüedad solamente se conocían las más básicas.

La primera, es la propia energía solar que, dependiendo de la orientación, de la latitud y altitud de los edificios, podía llegar a calefactar habitaciones específicas para este fin, tal y como sucede con las salas denominadas *Heliocaminus*. Los arqueólogos Charles V. Daremberg y Edmond Saglio en su libro *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines, d'après les textes et les monuments* nos definen este espacio como una doble galería para recibir y concentrar el calor del sol mediante grandes aberturas acristaladas. Esta habitación tenía lógicamente una orientación al oeste y sur para poder captar con mayor intensidad y durante más tiempo los rayos solares<sup>208</sup> (Daremberg *et al.* 1900, III, 60)<sup>209</sup>.



Ilustración 253. *Heliocaminus* de Villa Adriana.

---

<sup>208</sup> No debe de confundirse con el *solarium*, que se ubicaba al aire libre sin ninguna protección acristalada o edificada.

<sup>209</sup> C. V. DAREMBERG y E. SAGLIO (1900). *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines, d'après les textes et les monuments*. París: Librairie Hachette et C.

La segunda de las formas de introducir el calor en los edificios termales consiste en aprovechar las aguas termales que, de forma natural, afloran a la superficie y permiten no solo rellenar las piscinas con agua caliente sino también calefactar con su circulación otras dependencias del complejo termal (Cunliffe 2009, 92)<sup>210</sup>.

Esta tipología de termas constituye una gran variedad formal y constructiva que se adapta al aprovechamiento de la energía térmica que emana de la corteza terrestre en forma de agua caliente. Existen numerosos ejemplos de estas instalaciones como las termas de Baia cerca de Nápoles, los Baños de Montemayor en Cáceres, las termas de Bath en Inglaterra, y un largo etcétera de poblaciones por todo el territorio del antiguo Imperio romano.



Ilustración 254. Termas de Bath. Entre 1890 y 1905. Autor: desconocido. Reproducción: LC-DIG-pmmsc-07998 perteneciente al Library of Congress, Prints and Photographs Division. United States of America.

<sup>210</sup> B. CUNLIFFE (2009). *Roman Bath discovered*. Stroud (UK): The History Press.

La tercera y la más interesante manera de introducir el calor en los edificios la constituye la calefacción mediante la construcción de un *hypocaustum*<sup>211</sup>. Esta tipología constructiva tan característica en estos edificios es considerada uno de los alardes tecnológicos más avanzados que los romanos pudieron diseñar y construir. El elemento fundamental es la combustión, que se consigue utilizando madera o carbón como combustible que, tras el proceso de encendido, se combina con el aire mediante la propia convección natural, transmitiendo su calor por convección y radiación. El proceso de combustión manifiesta una exigencia en el diseño de cada sistema constructivo y su correcta simbiosis, determinará el buen funcionamiento y nos permitirá disfrutar de la instalación tal y como ha sido pensada y diseñada. La elección de los materiales constructivos y sus valores de transmisión de calor nos ayudarán a conseguir dicha finalidad de una forma más eficiente y sostenible. Por tanto, la combustión, el diseño constructivo y la elección de los materiales nos definirán el concepto de funcionalidad de un *hypocaustum* y por extensión del complejo termal diseñado y construido aprovechando los necesarios conceptos de transmisión de calor y los principios de termodinámica.

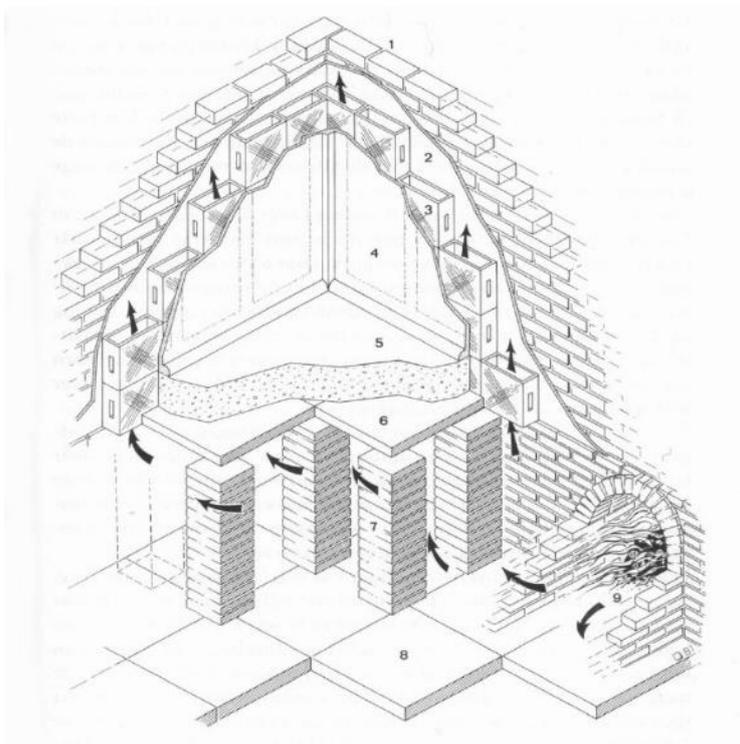


Ilustración 255. Sección de un *hypocaustum* y su esquema de funcionamiento. 1. Muro. 2. Revestimiento del paramento. 3. *Tubulli* o cámara de ventilación. 4. Revestimiento de sala. 5. Suspensura. 6. *Bipedalis*. 7. *Pilae*. 8. *Area*. 9. *Praefurnium*. Autor: equipo arqueológico de Cimadevilla.

<sup>211</sup> Hay que considerar la utilización de otros utensilios y elementos como los braseros y las chimeneas, que también pueden aportar calor directamente a la estancia que calefactan.

La **transmisión de calor** es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre los cuerpos, materiales o sistemas como resultado de una diferencia de temperaturas.

A diferencia de la termodinámica, la transmisión de calor pretende no solo explicar cómo puede transferirse la energía térmica sino también predecir la velocidad con la que tiene lugar la transferencia.

La **termodinámica** tiene por objeto de estudio los estados de equilibrio, mientras que la transmisión de calor estudia sistemas que no están en equilibrio durante el proceso de transferencia. Por ejemplo, si introducimos una barra caliente de acero en un cubo de agua, la termodinámica podrá utilizarse para obtener información sobre la temperatura final de equilibrio del conjunto, pero no ofrece información sobre la temperatura de ambos elementos (barra de acero y agua) en función del tiempo, que únicamente se podrán obtener aplicando los conceptos desarrollados por la transmisión de calor (Martínez 1992)<sup>212</sup>.

La palabra “termodinámica” proviene de los vocablos griegos θερμο, ‘termo’ (calor) y δύναμις, ‘dínamis’ (fuerza), es decir el comportamiento dinámico que ejerce la energía calorífica en un material.

La transmisión de calor estudia y cuantifica esa fuerza (hablemos mejor de energía) mediante tres formas o modos de transferencia: conducción, convección y radiación.

Evidentemente, son estos principios fundamentales los que permitirán estudiar y comprender en profundidad los procesos térmicos que tienen lugar en los complejos termales. El comportamiento de los diferentes estados de la materia —sólidos, líquidos y gases en presencia de calor— se podrá aplicar a una construcción o edificación donde se pretenda aprovecharlo de forma experimental, tratando así de comprender el sistema generado por nuestros antepasados como perfectamente funcional y óptimo.

Desde el punto de vista histórico, los primeros descubrimientos referidos a los conceptos de termodinámica y transmisión de calor se produjeron de forma casual, sin ningún razonamiento ni resultado empírico, sino más bien observando el comportamiento de la energía térmica en diferentes lugares, situaciones y entornos.

Así, el hecho de realizar un fuego en un lugar cerrado o abierto, la presencia de aire circulando alrededor del foco de calor, o cualquier otra manifestación del

---

<sup>212</sup> Martínez, I. (1992). “Historia de la Termodinámica”, en Termodinámica básica y aplicada, pp. 573-583. Madrid: Dossat. Recuperado a partir de <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/Appendices/Historia de la Termodinamica.pdf>

comportamiento de los materiales ante la presencia de calor, son descubrimientos que el hombre, desde los albores de la humanidad, ha ido evidenciando y adquiriendo en su conocimiento subjetivo, y le han permitido con su ingenio finalmente analizar y sintetizar su aprovechamiento.

El método empírico de investigación científica ha sido desde siempre y sigue siendo la base para el estudio de la naturaleza y su transformación en provecho del hombre. La causa-efecto es el principio que mueve la redacción de toda teoría y lo que demuestra que, para justificar un hecho o proceso real hay que probar varias hipótesis.

Así, por ejemplo, el dejar distintos objetos, como diferentes tipos de piedras, a la intemperie y observar su comportamiento como consecuencia de:

- la ganancia de energía por la radiación solar,
- la convección debido al aire caliente durante el día,
- la pérdida térmica por la noche por la irradiación hacia el cielo,
- y el enfriamiento por el aire por convección durante la noche,

puede llevar a conclusiones muy importantes. Evidentemente, en este proceso también afectan de manera muy significativa las propiedades térmicas de los sólidos involucrados, como la conductividad térmica, la densidad o el calor específico. Todos estos datos desconocidos en épocas antiguas, pero que han llevado a posteriori a desarrollar las teorías científicas que nos permiten elegir los materiales de construcción idóneos para determinados aspectos edificatorios son la base de la arquitectura bioclimática y la construcción pasiva que tanta importancia tiene en la actualidad.

Pero la observación de estos fenómenos naturales y espontáneos no permitieron el desarrollo de teorías que los justifican de forma rigurosa hasta bien entrado el siglo XV, durante los comienzos del Renacimiento. De hecho, hasta ese momento estos comportamientos eran justificados con los modelos formulados por los científicos griegos y romanos<sup>213</sup>, que asumían la constitución de todos los materiales y su comportamiento en los cuatro elementos de la naturaleza: fuego, tierra, agua y aire. La falta de entendimiento de estos fenómenos y la necesidad de adaptarse al resultado obtenido, dio origen a muchas de las teogonías clásicas, en un desesperado intento de procurarse el favor de tan extraordinarias fuerzas que provenían de seres superiores e inaccesibles: los dioses. Hefestos y Vulcano como dioses del fuego, Eolo como dios supervisor de todos los vientos, Poseidón y Neptuno como dioses del agua, y Ceres y

---

<sup>213</sup> Heráclito (500 a. C.), Empédocles (400 a. C.) y Aristóteles (300 a. C.)

Deméter como dioses de la tierra; bajo la jerarquía de Zeus y Júpiter<sup>214</sup> eran los encargados de justificar aquello que nadie entendía ni podía explicar pero que sí podían aplicar y aprovechar<sup>215</sup>.

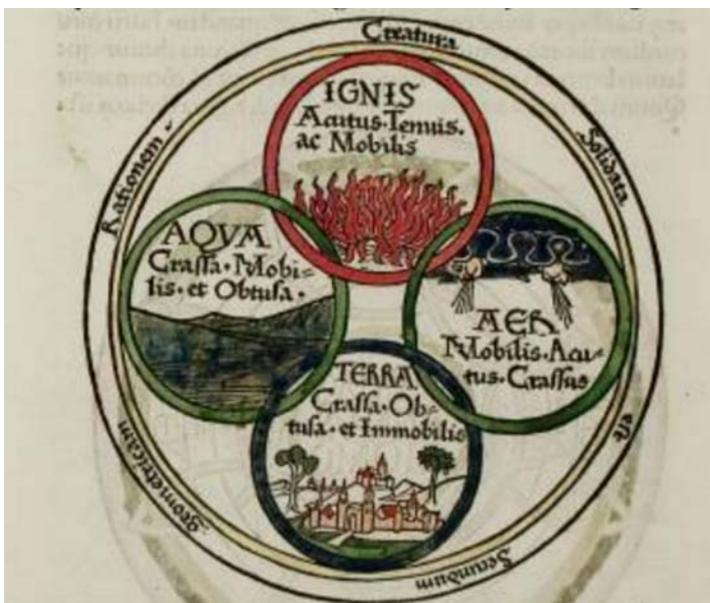


Ilustración 256. Autor: Isidorus Hispalensis (obispo de Sevilla, s. VII). De responsione mundi et de astrorum ordinatione. Impreso en Augsburgo: Zainer Günther, 1472 XII 7 (De la colección de la Biblioteca del Museo Czartoryski en Cracovia).

No se empleaban razonamientos teóricos para explicar lo que sucedía mediante la aplicación del método empírico, pero el pensamiento crítico de los filósofos griegos primero<sup>216</sup> y posteriormente los romanos, ya permitió elaborar unas teorías filosóficas que perduraron hasta la llegada en el Renacimiento de la llamada filosofía experimentalista (Martínez 1992, 574)<sup>217</sup>.

Galileo Galilei es el científico al que se le atribuyen los primeros avances experimentales con la invención del primer termoscopio<sup>218</sup>. Fabricado en 1592 a partir de la experiencia

<sup>214</sup> Es mucho más extensa la lista de todas las divinidades en las mitología griega y romana, e incluso en otras civilizaciones, que han puesto nombre a todos estos seres encargados de producir y cuidar estos fenómenos naturales inexplicables en esas épocas.

<sup>215</sup> Incluso existen teorías clásicas que establecen la existencia de “espíritus termales” que viajan de los cuerpos calientes a los fríos. Curiosamente el segundo principio de la termodinámica trata de justificar este fenómeno.

<sup>216</sup> Fueron los primeros en describir aparatos donde se comprimía el aire y se generaba vapor.

<sup>217</sup> I. MARTÍNEZ. *Termodinámica básica y aplicada*. Madrid: Dossat. ISBN: 9788423708109

<sup>218</sup> No se puede indicar que se trata de un termómetro ya que no lleva la escala graduada para identificar temperaturas.

de calentar un tubo de vidrio y sumergirlo por su extremo abierto en agua, de modo que, al enfriarse, el nivel de agua subía un poco. Así, la columna de agua variaba de longitud cuando el aire del interior del bulbo se calentaba o enfriaba. Pese a no ser del todo preciso, este sistema marcó todo un hito para demostrar la forma de medir las temperaturas mediante un instrumento y así poder constatar empíricamente y sobre todo documentar los datos que se obtenían en cada proceso y situación. A partir de este significativo invento, fueron apareciendo muchos investigadores que mejoraron los sistemas capaces de medir los procesos experimentales y así posteriormente justificar mediante argumentos y conceptos físicos los principios científicos del comportamiento del calor entre los que cabe citar a Celsius, Newton, Watt, Black, Joule, Lavoisier, Boyle, Fourier; un gran elenco de grandes científicos que han estado ligados a la investigación y que muchos de ellos dan nombre a muchas de las unidades de las magnitudes desarrolladas: grados (Celsius) energía (Joule) y a sus ecuaciones, Ley de conservación de la materia (Lavoisier), Ley de la conducción térmica (Fourier).

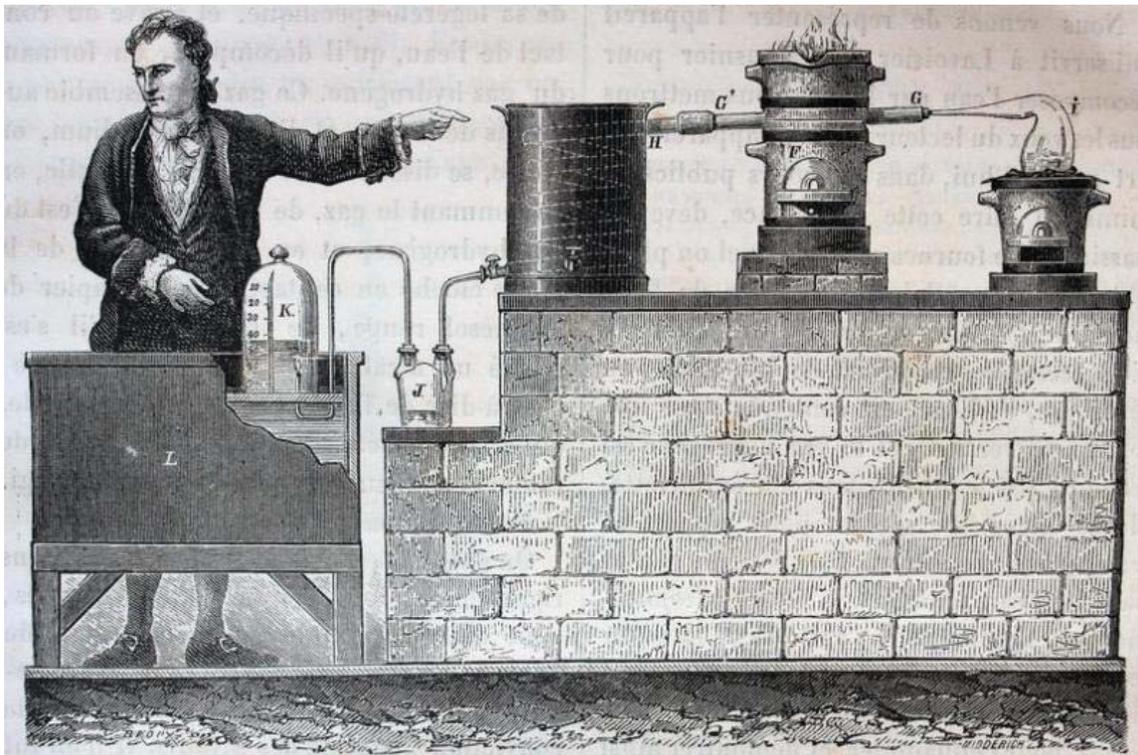


Ilustración 257. “Appareil de Lavoisier et Meusnier pour la décomposition de l'eau par la fer chauffé au rouge”. Ilustraciones del libro: *Les merveilles de l'industrie ou, Description des principales industries modernes / par Louis Figuier*. Paris: Furne, Jouvet, [1873-1877]. Tomo III. Fondo antiguo de la Biblioteca de la Universidad de Sevilla.

Pero el inicio del desarrollo de la teoría de la transmisión de calor se produjo a finales del siglo XVIII mediante la teoría calórica que Lavoisier describió basándose en los fenómenos en los que un fluido inodoro, incoloro y etéreo, denominado “calórico”, era

capaz de impregnar la materia, aumentando su temperatura<sup>219</sup>. Estas teorías tenían presente las investigaciones realizadas por Joseph Black y que determinaban el calor latente y el calor específico de muchos materiales, marcando el inicio de otras teorías que justifican estos comportamientos y que posteriormente desarrollaron otros investigadores.

La termodinámica clásica, tal y como se entiende hoy en día, se inicia en 1824. En pleno enfrentamiento de Francia con Inglaterra, Sadi Carnot, trata de descubrir las causas de la supremacía de las máquinas y tecnología inglesa. Carnot así publica su única y trascendental obra sobre la potencia motriz del fuego, en la que presenta su gran aportación del ciclo termodinámico y su optimización: “El rendimiento de una máquina o motor térmico solo depende de la diferencia de temperaturas entre el foco caliente y el foco frío”.

Todo este periodo se puede resumir en dos ideas básicas. La primera basada en los postulados de los físicos del siglo XVIII que buscaban las propiedades de la materia para justificar el comportamiento térmico, y la segunda basada en los logros conseguidos en el siglo XIX basados en la igualdad de Joule y la desigualdad de Clausius (Martínez 1992, 578).

- Igualdad de Joule ( $dQ + dW = 0$ )
- Desigualdad de Clausius ( $dQ/T \leq 0$ )

Posteriormente, Boltzman ayudó a consolidar el cuerpo teórico de la termodinámica desde un punto de vista más energético y microscópico, estableciendo las relaciones que se producían a nivel atómico-molecular en la materia, rechazando en parte, los modelos mecánicos y físicos defendidos por Carnot (Furió *et al.* 2007, 469)<sup>220</sup>.

Es importante centrar el objeto de esta tesis que pretende poder aplicar los principios básicos de la termodinámica y de la transmisión de calor al comportamiento de un *hypocaustum* y por extensión al complejo que define una terma romana. Todos los parámetros enunciados anteriormente nos dan una visión de la evolución de los conceptos físicos que intentan explicar los comportamientos que suceden relacionados con el calor. La justificación de estos conceptos adaptados a las construcciones de los complejos termales, y más en concreto al *hypocaustum* de una terma, justifican las

---

<sup>219</sup> Lavoisier junto a Laplace fueron los primeros en utilizar un calorímetro para determinar los cambios químicos que se producen en la materia por la incidencia del calor o el frío.

<sup>220</sup> C. FURIÓ-GÓMEZ, J. SOLBES y C. FURIÓ-MAS (2007). “La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas”, *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de Ciencia*, 4 (3), pp. 461-475.

metodologías aplicadas en esta investigación que permiten ajustar y predecir el comportamiento de estas construcciones.

Un estudio descriptivo de todas las investigaciones alrededor de los *hypocaustum* nos puede ayudar a comprender la evolución que han tenido los trabajos realizados que han intentado establecer unos buenos criterios para la comprensión del fenómeno. Las teorías más importantes se agrupan en torno a dos grandes temas:

- El primero es la creencia de la comunicación directa entre el *hypocaustum* y la sala a calefactar.
- La segunda es el debate de si la cámara mural se diseña para calefactar o no.

En 1762, J. J. Winckelmann describe una cámara de calor en la villa de Tusculana (Herculano) que alimentaba con aire caliente las habitaciones situadas en plantas superpuestas, entrando el aire caliente dentro de la sala mediante aperturas que se abrían o cerraban mediante un registro (Winckelmann 1762, 49)<sup>221</sup>.

En 1874, el general Morín, contrario a esta teoría, intenta describir que los gases calientes nunca entran en la habitación a calefactar, basándose, en principio, en el peligro de intoxicación con el dióxido y monóxido de carbono que podía contener el aire. También utiliza los descubrimientos de los principios de la termodinámica que se están produciendo en esos momentos y los aplica a la transmisión de calor de una terma. Así, describe que la única solución para calentar un elemento es conducir el calor por debajo de este, intentando conseguir la máxima estanqueidad para evitar que los gases entren en la habitación habitada. Se basa en el *laconicum* existente en la iglesia de Santa Cecilia en Roma y que ya describe Séneca en sus escritos. No tiene la certeza en cuanto a los *tubuli* de las paredes y le aporta una tarea de ventilación de las paredes siempre sin comunicación directa con la sala debido a que le aportaría un ambiente imposible de habitar.

En 1897, L. Jacobi estudia los *hypocaustum* del castillo de Saalburg<sup>222</sup>. Expone una teoría conjunta en la que mantiene las hipótesis de Morín, pero le añade una fase nueva en la que existe una comunicación directa entre la sala que emite el calor y la que lo recibe.

---

<sup>221</sup> J. J. WINCKELMANN (1762). *Anmerkungen Über die Baukunst des Alten* (verlegts J. G. Dyck., trad.). Leipzig.

<sup>222</sup> Saalburg es un fuerte militar de origen romano ubicado cerca de Frankfurt (Alemania) que contenía unas termas entre las ruinas del poblado y que sirvieron de base para varios experimentos.

Esto, solo lo indica, cuando la combustión de la madera ha finalizado, aprovechando el calor existente de los muros que sirve para calentar el aire frío introducido en la sala.

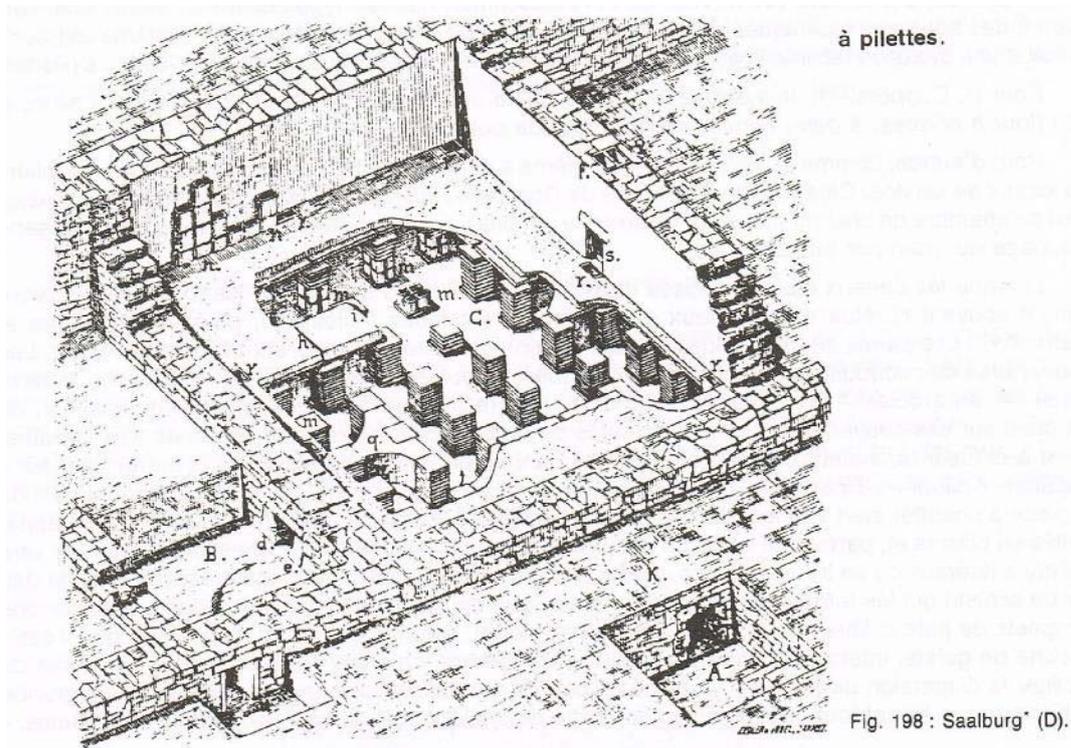


Ilustración 258. Detalle del *hypocaustum* de Saalburg en el que se puede apreciar los conductos en los muros (r, s, f), *tubuli* (n), *pilae* (m), *praefurnium* (A) (Degbomont 1984, 119).

En 1901, O. Krell mantiene que el *hypocaustum* únicamente se utiliza para calefactar pequeñas habitaciones, siendo el brasero, el elemento fundamental para aumentar la temperatura en las distintas salas. La justificación que argumenta se basa en el hecho de no encontrar grandes cantidades de hollín en los conductos y en los restos de los *hypocaustum*, manteniendo la hipótesis de las termas de Stabiae en Pompeya, en las que utilizan el brasero en el centro de la habitación. También argumenta que se utilizan los conductos de los muros para desecar la obra de fábrica una vez ejecutada y evitar la presencia de humedades basándose en los escritos de Vitruvio.

En 1910, G. Fusch aporta argumentos nuevos y critica las conclusiones de Krell, manifestando que interpreta erróneamente a Vitruvio cuando expone las funciones de conducción del calor de la *suspensura* y argumenta, con los escritos de Plinio el Joven, la justificación funcional de las conducciones cercanas a las superficies acristaladas.

Hasta mediados del siglo XX, otros investigadores como Bonnard, Vetter, Badermann y Valter exponen más argumentos que giran en torno a las hipótesis ya descritas por los anteriores y que se basan básicamente en los conceptos siguientes (Degbomont 1984, 201-207):

1. Existe comunicación directa desde el *hypocaustum* a la sala que se ha de calentar, mediante circulación y convección del aire caliente.
2. No existe comunicación directa y se realiza toda la transmisión de calor por conducción y radiación a través de las paredes y del pavimento.
3. Coexisten las dos hipótesis anteriores con alternancia de funciones.

Finalmente, en 1951, F. Kretzschmer fue el primer ingeniero térmico en tratar el tema de las termas en profundidad. Dirigió un experimento denominado “experiencia de Saalburg<sup>223</sup>” primero de manera teórica y luego con experiencias prácticas, que más tarde fueron parcialmente revisadas por las investigaciones de Hüser en 1976 (Nielsen 1990, 17), justificando que el sistema del *hypocaustum* funciona por radiación

Plinio el Joven comentaba en sus textos que costaba bastante tiempo alcanzar una temperatura suficientemente alta como para que las termas comenzaran a funcionar, pero una vez alcanzada dicha temperatura mantenerla era relativamente sencillo (Plinio según Nielsen 1990, 17). Por esta razón, dice que, si recibía visitas inesperadas en su villa, en lugar de calentar su terma privada, llevaba a los invitados a las termas de la ciudad de al lado.

En las grandes termas públicas, el fuego casi nunca se apagaba del todo y se mantenía incluso de noche según el experimento realizado en Saalburg. Por ello, Kretzschmer afirma que el fuego debía ser alimentado de 2 a 3 veces al día (Kretzschmer 1953, según Nielsen 1990, 17). Esto puede que sea gracias al grosor del pavimento de la *suspensura*, que, a causa de su inercia térmica, puede almacenar calor y disiparlo lentamente. Del mismo modo, cuando el fuego se apagaba, se tapaba la boca del *praefurnium* para evitar la entrada de aire frío y mantener el aire caliente bajo la *suspensura*.

Parece ser que, en algunos casos, se dejaba que el aire caliente del interior de la *suspensura* entrara a través de unos conductos al interior de la sala. Estos conductos solo se abrían cuando el fuego de la *suspensura* estaba apagado y la boca del *praefurnium* cerrada, para evitar la entrada de humos al interior de la sala. Aun así, a Kretzschmer no le convenía la idea, porque consideraba que podrían entrar gases nocivos (Nielsen 1990, 19). Posteriormente, Hüser en 1979 dijo que dichos humos eran tan inofensivos como los que emitían los braseros de carbón. A pesar de eso, el humo más denso aparece tan solo al principio de la ignición, aclarándose y casi volviéndose transparente después si la madera está seca y existe una buena combustión (Brödner 1958, 110 en Nielsen 1990, 20).

---

<sup>223</sup> Se trata de la misma edificación en la que se basó L. Jacobi, 50 años atrás.

En las termas más tempranas se puede observar cómo en ocasiones las salas templadas reciben el calor de las salas calientes adyacentes a través de aperturas en el muro que conectaban las *suspensuras* de ambas salas. Es decir, que una sala, llamémosla principal, calentaba indirectamente a otra secundaria. En estos casos, las chimeneas debían colocarse en las salas calentadas de manera indirecta, de forma que el flujo de aire caliente discurra bajo ellas (Nielsen 1990, 17), incluso colocando más de un *praefurnium* para calentar una misma sala.

Respecto a la función de la *tubulatura* las opiniones son más diversas. Las opiniones difieren entre si su función principal era calentar la sala o aislarla del exterior. Antes del trabajo de Kretzschmer, todo el mundo creía que la *tubulatura* calentaba la sala del mismo modo que lo hace la *suspensura*. Thatcher (1956, según Nielsen 1990, 17) afirma que en los grandes ventanales de las salas calientes no había vidrio, pues el *hypocaustum* era lo suficientemente potente como para que la pérdida de calor que se producía fuera despreciable, aunque solo sería cierto si la *tubulatura* fuera un elemento radiante funcionando como una gran chimenea.

Kretzschmer (1953, según Nielsen 1990, 17) afirma en su trabajo que es cierto que la *tubulatura* calienta la sala, pero no de manera relevante, y que ese poco calor que aporta al muro ayuda a que la pérdida de calor hacia el exterior sea menor, llegando a afirmar incluso que, si el sol calienta el trasdós del muro, el flujo de calor en el muro será hacia el interior de la sala y no hacia el exterior.

Según el diagrama de isotermas obtenidos por Kretzschmer (Kretzschmer 1953, fig. 20), la temperatura del muro difiere de la del suelo, pero alrededor de las chimeneas, donde existe corriente, la temperatura es igual a la del suelo.

Kretzschmer afirma que la *tubulatura* no es una gran chimenea por no estar relacionada directamente con los humos y su temperatura ser relativamente similar a la del interior de la sala. Aparte, añade que en caso de que la *tubulatura* de la sala tuviera tiro, sería imposible calentar una sala adyacente porque todo el calor se lo llevaría la *tubulatura* de la sala principal.

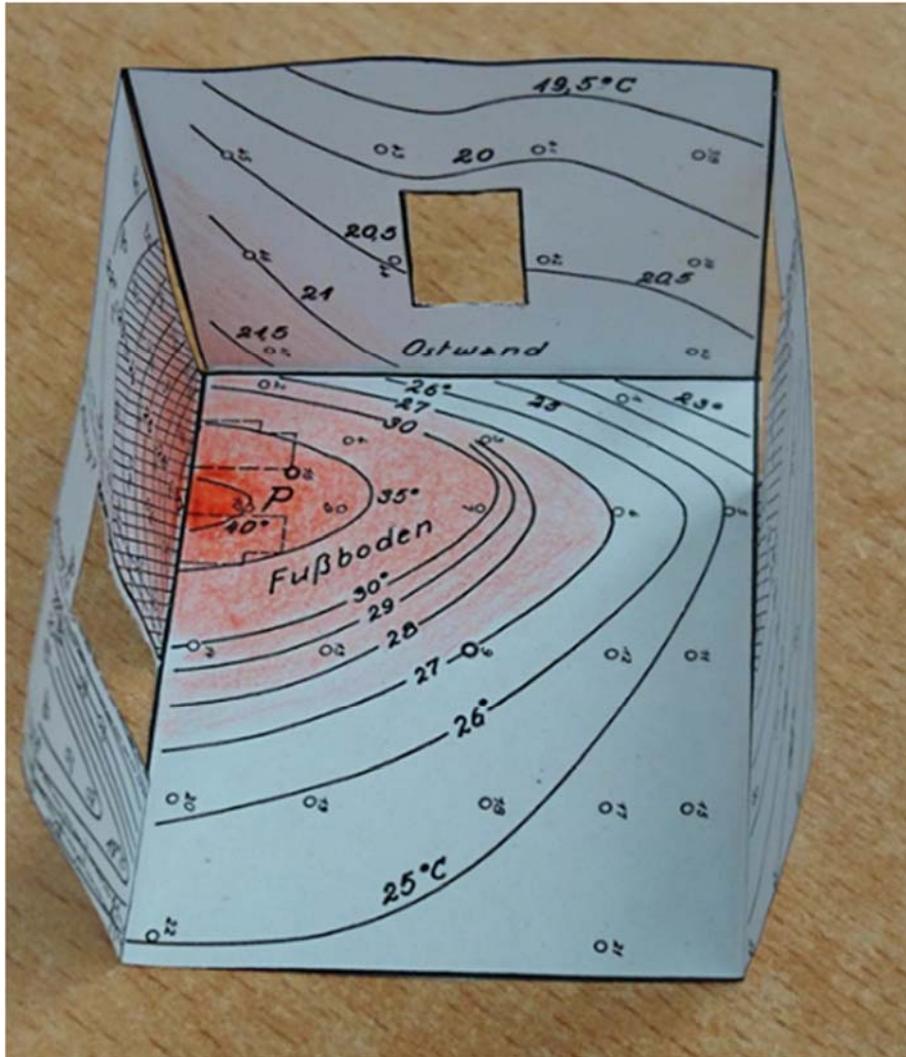


Ilustración 259. Esquema del experimento de Saalburg realizado por Kretschmer donde se pueden observar las isotermas alcanzadas en suelos y paredes.

Con toda esta relación de experiencias y experimentos, se puede constatar que el dato de la temperatura en las termas con *hypocaustum* podía ser relativamente alta debido a la conjunción de la *suspensura*, la *tubulatura* y la luz solar que entraba por las grandes ventanas (Nielsen 1990, 18). Parece ser que la temperatura del *caldarium* rondaba los 50 °C, el agua de las piscinas con fuego directo podría alcanzar los 40 °C y las salas de calor seco podían llegar hasta los 80 °C, haciendo necesario llevar sandalias para evitar quemaduras en los pies (Kretschmer 1953, según Nielsen 1990, 20).

## 4.2 APLICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE CALOR

La diferencia de temperaturas que experimenta un cuerpo es la consecuencia del flujo de energía dentro del sistema en el que se encuentra. Este flujo de energía (llamado también de transferencia de calor) puede realizarse de tres formas diferentes atendiendo a la naturaleza del cuerpo (sólido o fluido) y de la fuente de energía capaz de generar ese flujo (energía solar, eléctrica, fuego, etc.). Estas tres formas diferentes son:

- la conducción,
- la convección
- y la radiación;

y todas ellas están presentes en la funcionalidad de una terma romana.

### 4.2.1. Conducción

La conducción es el modo de transmisión de calor debido a la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una materia. Es el único mecanismo de transmisión de calor en el interior de un sólido opaco y está asociado a la vibración de las moléculas con distinta velocidad, que tiende con el tiempo a uniformizarse.

La ecuación que describe el intercambio de calor por conducción es la ley de Fourier:

$$\vec{q} = -k\nabla T$$

Ecuación 3. Ley de Fourier

Donde

$\vec{q}$  es el vector densidad de flujo de calor, expresado en W/m<sup>2</sup>

$\nabla T$  es el gradiente de temperaturas  $\frac{dT}{dx}$ .

$k$  es la conductividad térmica expresada en W/mK.

La forma simplificada de expresar esta ecuación para un material de conductividad térmica uniforme y espesor L es la siguiente:

$$Q = A \times k \times (T_{cal} - T_{fría}) / L$$

Ecuación 4. Ley de Fourier simplificada

Donde

$Q$  es el calor expresado en W

$A$  es la superficie donde se aplica la conducción, expresada en  $m^2$

$k$  es la conductividad térmica expresada en  $W/mK$

$T_{cal}$  es la temperatura más alta, expresada en K

$T_{fría}$  es la temperatura más baja, expresada en K

$L$  es el espesor, expresado en m

Para realizar una estimación de la conductividad térmica de uno de los materiales predominantes en los pavimentos de la terma se diseñó un experimento realizado en los laboratorios del Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia<sup>224</sup>.

El experimento trata de medir la conductividad térmica promedio y el calor específico de un fragmento de la *suspensura* del *caldarium* de las termas. Dicho fragmento arqueológico forma parte del material extraído en las obras realizadas recientemente y ha sido cedido para este experimento por el arqueólogo municipal D. Xavier Vidal, devolviéndose posteriormente al lugar de partida. El fragmento tiene dimensiones irregulares pudiéndose inscribir en un prisma de  $0,26 \times 0,23 \times 0,09$  m.

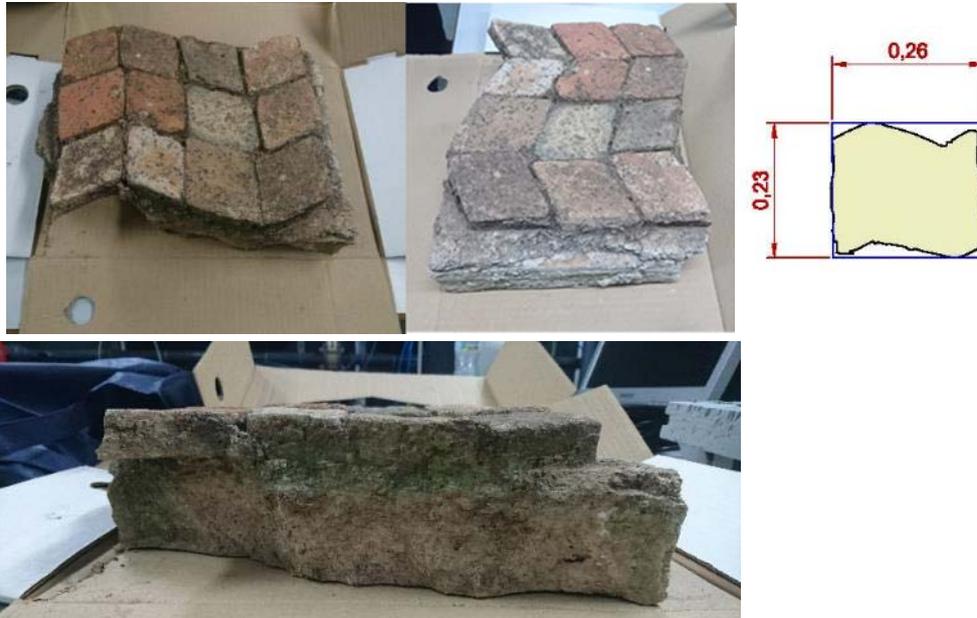


Ilustración 260. Vistas de la pieza de la suspensura del *caldarium* antes del experimento.

<sup>224</sup> Para ello se contó con la inestimable colaboración de Rafael Royo Pastor (profesor del Departamento de Termodinámica Aplicada) y Ricardo Pérez Feito (técnico del laboratorio de Termodinámica Aplicada).

Para evaluar la conductividad térmica se utiliza un balance de energía en condiciones estacionarias. Para ello se fabrica una caja con placas de poliestireno extruido de 4 cm de espesor. En su interior se ubica la probeta a caracterizar poniéndose en contacto con una resistencia eléctrica plana de calentamiento de la marca Watlow Ibérica con unas especificaciones de 230 VAC y 1200 W, alimentada mediante un transformador que permite variar la tensión eléctrica introducida y por tanto la potencia térmica que calienta la pieza. Todas las caras del conjunto se aíslan y se sellan convenientemente, para que solo pueda conducir el calor a través de la pieza que se va a ensayar.



Ilustración 261. Detalle de las especificaciones de la lámina de la resistencia eléctrica utilizada.



Ilustración 262. Ajuste de la potencia que se va a introducir en la lámina.

La resistencia eléctrica tiene las dimensiones de la base de la caja en la que se ubica, de  $0,2 \times 0,75$  m, determinándose una resistencia de 40 ohmios, para conseguir una diferencia de temperatura suficiente entre ambos lados de la probeta, para que la medida sea consistente y reducir la incertidumbre interesarían potencias térmicas elevadas. Sin embargo, al haber sellado el resto del conjunto con material aislante, la potencia térmica no puede incrementarse excesivamente porque habría riesgo de quemado de la propia resistencia. Así, se escoge una potencia en torno a 36 W.



Ilustración 263. Lamina completa utilizada y colocada en la base protegida con un papel de aluminio.



Ilustración 264. Detalle del aislamiento de la pieza.



Ilustración 265. Detalle de la probeta una vez aislada.

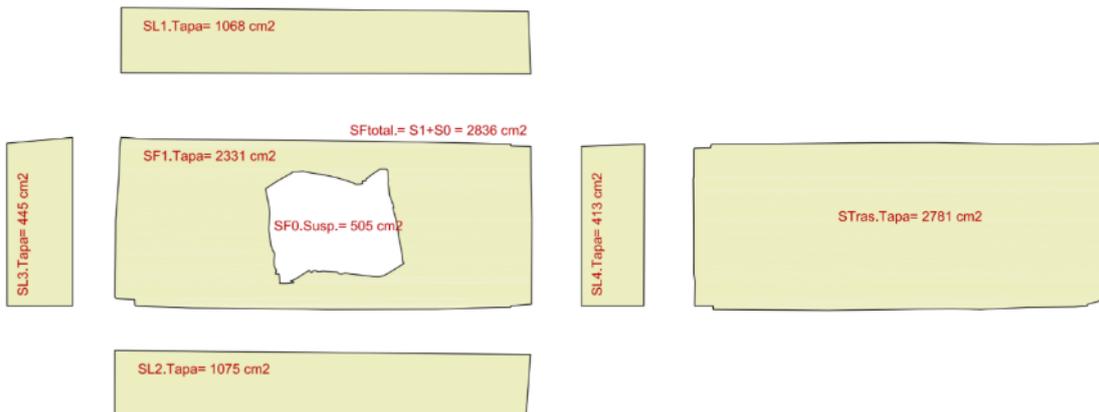
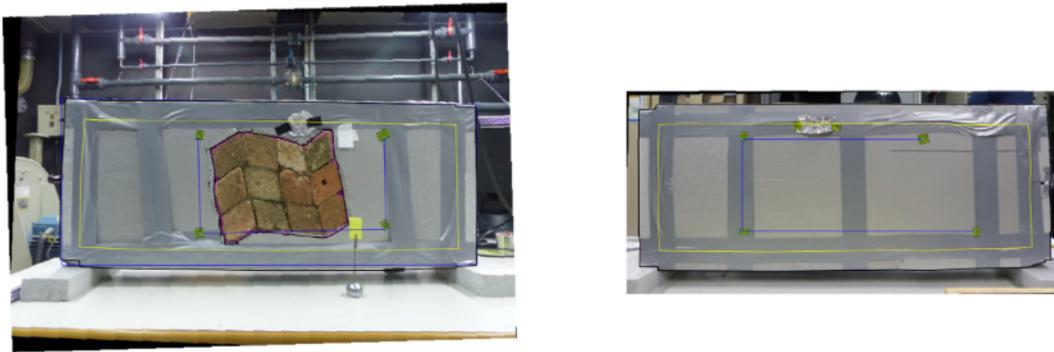


Ilustración 266. Superficies de cada una de las caras.

La condición previa para establecer el balance de energía térmica es una estimación precisa de las pérdidas de calor en todo el contorno o superficie exterior del montaje, que debe ser igual a la potencia térmica introducida mediante la resistencia. Es una condición inicial que se ha de cumplir para asegurar la bondad del proceso de medida.

Estas pérdidas de calor al exterior tienen lugar en forma de convección y radiación.

La expresión para las pérdidas de convección es:

$$Q = A \times h \times (T_{\text{sup}} - T_{\text{aire}})$$

Ecuación 5. Pérdidas por convección

Donde

**Q** es el calor expresado en W

**A** es la superficie donde se aplica la conducción, expresada en m<sup>2</sup>

**h** es el coeficiente de transmisión del calor por convección expresado en W/m<sup>2</sup>K

**T<sub>sup</sub>** es la temperatura superficial de la probeta, expresada en K

**T<sub>aire</sub>** es la temperatura del aire alrededor de la probeta, expresado en K.

La expresión para las pérdidas de radiación es:

$$Q = A \times \varepsilon \times \sigma \times (T_{\text{sup}}^4 - T_{\text{reflejada}}^4)$$

Ecuación 6. Pérdidas por radiación

Donde

**Q** es el calor expresado en W

**A** es la superficie donde se aplica la conducción, expresada en m<sup>2</sup>

**ε** es la emisividad del material

**σ** es la constante de Stephan Boltzmann cuyo valor es  $5,6704 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$

**T<sub>sup</sub>** es la temperatura de la superficie de la probeta, expresada en K

**T<sub>reflejada</sub>** es la temperatura reflejada, expresada en K

Dichas ecuaciones se aplican a cada una de las caras exteriores que componen el conjunto aislado en el que se incluye la pieza arqueológica y la resistencia, de forma más o menos prismática y compuesto por tanto por seis superficies rectangulares convenientemente numeradas:



Ilustración 267. Detalle de la probeta de la parte delantera con la inclusión del material altoemisivo y del aluminio arrugado para medir la temperatura reflejada.



Ilustración 268. Detalle de la probeta de la parte trasera con la inclusión del material altoemisivo y del aluminio arrugado para medir la temperatura reflejada.

A continuación, como ejemplo se muestra la termografía infrarroja de esta última cara 3 cuando ya ha alcanzado condiciones estacionarias. Dicha termografía infrarroja es utilizada para evaluar las temperaturas superficiales, y a partir de las mismas las correspondientes pérdidas de calor:

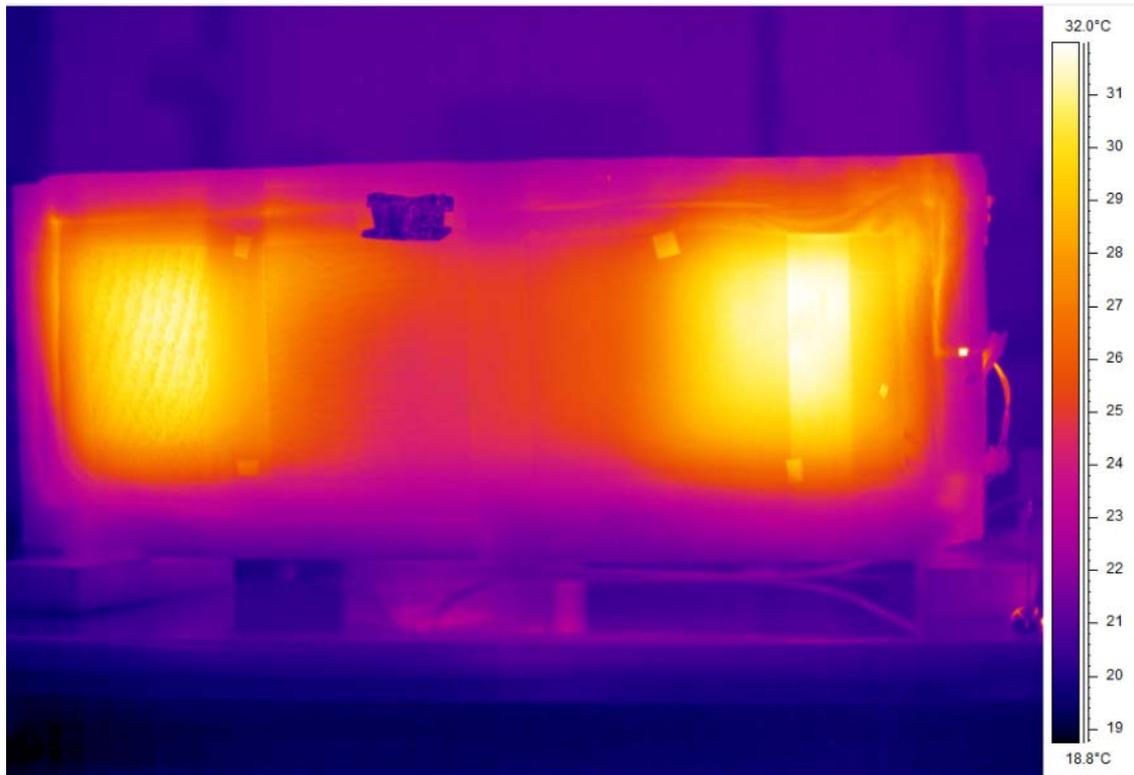


Ilustración 269. Imagen infrarroja de la parte trasera con la inclusión del material altoemisivo y del aluminio arrugado para medir la temperatura reflejada.

Cálculo de Q (cara 3):

Emisividad de la pieza aislante 0,729 (Según calculo por emisividad de referencia)

T reflejada = 20,9 °C

Temperatura del aire = 21,1 °C

Emisividad de la superficie del aislante 0,98

Temperatura izquierda pieza= 30,1 °C

$h = 6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$q \text{ convección} = 54,0 \text{ W/m}^2$

$q \text{ radiación} = 40,5 \text{ W/m}^2$

$q \text{ total} = 94,5 \text{ W/m}^2$

Área = 0,03 m<sup>2</sup>

$Q = 2,84 \text{ W}$

Temperatura estacionaria derecha pieza = 29,4 °C

$h = 6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$q \text{ convección} = 49,8 \text{ W/m}^2$

$q \text{ radiación} = 37,3 \text{ W/m}^2$

$q \text{ total} = 87,1 \text{ W/m}^2$

Área = 0,04 m<sup>2</sup>

$Q = 3,48 \text{ W}$

Temperatura centro detrás de la pieza = 25,3 °C

$h = 6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$q \text{ convección} = 25,2 \text{ W/m}^2$

$q \text{ radiación} = 18,9 \text{ W/m}^2$

$q \text{ total} = 44,1 \text{ W/m}^2$

Área = 0,05 m<sup>2</sup>

$Q = 2,21 \text{ W}$

La temperatura superficie del aislamiento de los laterales de la pieza es: 23 °C

$h = 6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

$q \text{ convección} = 11,4 \text{ W/m}^2$

$q \text{ radiación} = 12,0 \text{ W/m}^2$

$q \text{ total} = 23,4 \text{ W/m}^2$

Área = 0,1561 m<sup>2</sup>

$Q = 3,65 \text{ W}$

**Q total cara 3 = 12,18 W**

Se realizan cálculos semejantes para el resto de las caras que componen la pieza prismática, obteniéndose finalmente:

$Q \text{ superficie 1} = 17,46$

$Q \text{ superficie 2 (de abajo) despreciable} < 1 \text{ W}$

$Q \text{ superficie 3} = 12,18 \text{ W}$

$Q \text{ superficie 4 (lateral)} = 1 \text{ W}$

$Q \text{ superficie 5 (lateral)} = 1 \text{ W}$

$Q \text{ superficie 6 (arriba)} = 2,8 \text{ W}$

$Q \text{ total} = Q \text{ superficie 1} + Q \text{ superficie 2} + \dots + Q \text{ superficie 6} = 34,44 \text{ W}$

Puesto que el calor aportado por la resistencia se ha calculado en 36,3 W, el error en el cálculo de la potencia disipada en forma de pérdidas de calor es inferior a un 5 %, resultado que parece bastante satisfactorio.

A partir de este primer balance, se determina asimismo la pérdida de calor de la probeta de *suspensura*, que se estima en unos 9,5 W en total.

Esta pérdida de calor atraviesa el espesor de la probeta mediante el mecanismo térmico de conducción.

A partir de la ley de Fourier simplificada para un material de conductividad térmica uniforme y espesor conocido

$$Q = A \times k \times (T_{cal} - T_{fría}) / L$$

Ecuación 7. Ley de Fourier simplificada

En esta ecuación son conocidos todos los términos, excepto la conductividad térmica, la primera propiedad térmica que se ha de caracterizar:

$$Q = 9,5 \text{ W}$$

$$A = 0,0505 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{superficie caliente}} = 59,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{superficie fría}} = 40,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Espesor medio de la pieza} = 0,085 \text{ m}$$

Después de operar en la fórmula y despejar el valor de la conductividad se obtiene que dicho valor es  $k = 0,85 \text{ W/m K}$ , valor que se encuentra dentro del intervalo entre 0,1 y 1 W/m K considerado como correcto. Cualquier otro resultado indicaría alguna anomalía en el proceso de medida.

### Conclusión

Con este ensayo, se ha podido determinar, mediante un balance de energía en condiciones estacionarias sobre la pieza original de las termas, los valores reales de todos los parámetros necesarios para calcular la conductividad térmica de la *suspensura*. Se ha estimado el calor disipado en la zona de la probeta, igual al conducido en condiciones estacionarias. Previamente se ha comprobado que el ensayo es válido ya que existe menos de un 5 % de diferencia entre las pérdidas captadas con la cámara térmica, los valores obtenidos mediante los cálculos teóricos y la potencia eléctrica aplicada a la resistencia eléctrica.

### 4.2.2 Convección

Como ya es ampliamente conocido, la convección es el modo de transmisión de calor que tiene lugar en un fluido, líquido o gas. Se diferencia de la conducción en que como indica su propio nombre, el fluido se puede mover, y de hecho se mueve por el propio proceso de calentamiento o enfriamiento.

La expresión que se utiliza para su caracterización proviene de lo que se denomina “ley de enfriamiento de Newton”, en la que este científico afirmaba que el proceso de enfriamiento depende linealmente de la diferencia de temperaturas entre el sólido y el fluido que lo rodea:

$$dT/dt = k (T \text{ sólido} - T \text{ fluido})$$

Ecuación 8. Ley de enfriamiento de Newton

Donde

$$K = A \times h / (m \times C_e)$$

**A** es la superficie donde se aplica la conducción, expresada en m<sup>2</sup>

**h** es el coeficiente de transmisión del calor por convección expresado en W/m<sup>2</sup>K

**m** es la masa del cuerpo, expresada en kg

**C<sub>e</sub>** es el calor específico expresado en J/Kg K

Despejando de la ecuación 6

$$m \times C_e \times dT/dt = - A \times h \times (T \text{ sólido} - T \text{ fluido})$$

Ecuación 9. Expresión de la pérdida de la energía con respecto al tiempo

Lo que expresa esta ecuación es que la pérdida de energía del sólido con respecto al tiempo se debe a las pérdidas de calor con el entorno.

Esta ley supone despreciar inicialmente las pérdidas por radiación, que de ningún modo son lineales con dicha diferencia de temperaturas. Es razonablemente cierta si la diferencia de temperatura no es muy elevada.

El término de la derecha de la ley de enfriamiento de Newton es la que llevó a la definición del calor de convección:

$$Q \text{ convección} = A \times h \times (T \text{ sólido} - T \text{ fluido})$$

Ecuación 10. Calor de convección

Que lleva asimismo a la definición del coeficiente  $h$  o coeficiente de convección, con unidades  $W/m^2 K$ .

Esta definición del coeficiente de convección supone simplemente que en el valor del calor de convección separamos la parte dependiente linealmente de la temperatura. Pero por tanto en el propio coeficiente de convección aparecen incluidos los fenómenos de dependencia con todos los parámetros de la mecánica de fluidos y la propia convección que no sean lineales en la diferencia de temperatura, y que como se puede entender son muy complejos.

De esta forma, en primer lugar, el coeficiente de convección no es una propiedad de la materia como ocurre con la conductividad térmica. Su valor depende de las condiciones del fluido: convección natural o forzada, del tipo de flujo, laminar o turbulento, o de la propia configuración geométrica del ensayo.

Por ejemplo, en condiciones normales el coeficiente de convección natural para el aire será menor de 6. Cuando se alcanzan condiciones de convección forzada, dicho valor puede estar entre 15 y 50.

La variación es todavía más elevada para el caso del agua, que según las condiciones puede variar desde 20 hasta más de 10000 en ebullición.

La determinación del coeficiente de convección se realiza mediante la utilización de expresiones adimensionales. Dichas expresiones son desarrolladas a partir de una experimentación rigurosa realizada en condiciones perfectamente controladas para las geometrías y los fluidos que son utilizadas de forma más habitual.

Los números adimensionales más utilizados son:

- El número de Nusselt
- El número de Reynolds
- El número de Prandtl
- El número de Grashof

A partir de dichos números adimensionales se determina finalmente el correspondiente coeficiente de convección.

El estudio de la convección es una de las ramas de la transmisión de calor que permanece todavía particularmente activa. Los últimos desarrollos tecnológicos exigen la determinación del calor de convección para nuevas condiciones y configuraciones que exigen una continua investigación en el campo. La clasificación que se realiza de la convección y quizá la más importante es la que considera dos tipos: la convección natural o "libre" y la forzada.

La convección natural o “libre” es aquella en la que el movimiento es causado por el propio calentamiento o enfriamiento del fluido.

La convección forzada supone la utilización de una bomba o ventilador para incrementar el flujo y por tanto el calor intercambiado. No vamos a desarrollarla más porque no es objeto del estudio en esta tesis, puesto que el movimiento de los fluidos en las termas es siempre por propia convección natural. De hecho, una terma se podría considerar una de las expresiones más desarrolladas, desde un punto de vista arquitectónico y de ingeniería, de la utilización de la convección natural en toda la historia de la humanidad.

En convección natural la dirección del movimiento siempre es vertical: ascendente en calentamiento, y descendente en enfriamiento. Las correlaciones de números adimensionales que permiten caracterizar el fenómeno son de la forma:

$$\text{Nusselt} = \text{Constante} \times \text{Rayleigh}^n$$

Ecuación 11. Número de Nusselt

Donde el número de Rayleigh a su vez es el producto de otros dos números adimensionales: Grassof y Prandtl.

El número de Grassof se define como el ratio o cociente entre las fuerzas de empuje, que provocan el movimiento en convección natural, y las fuerzas viscosas que tienden a frenarlo:

$$\text{Grassof} = g \times (T_s - T_{\text{fluido}}) \times L^3 / \text{viscosidad}^2$$

Ecuación 12. Número de Grassof

Donde

$g$  es la constante gravitatoria correspondiente,

$L$  es una dimensión característica del fenómeno, por ejemplo, la altura de la placa sobre la que tiene lugar la convección.

El número de Prandtl se define para cada fluido y tiene una dependencia con la temperatura que habitualmente se tiene en cuenta para mayor precisión.

En el estudio realizado en la terma se ha utilizado el coeficiente de convección desarrollado específicamente para la geometría de los *tubuli*, de acuerdo con el artículo “Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues” de los investigadores Taylor A. Oetelaar y Clifton R. Johnston

(Oetelaar y Johnston 2012, 413-427). Su conclusión, a priori algo sorprendente, es que el coeficiente de convección no depende de la temperatura del volumen de calentamiento, con valores entre 6,2 y 7,6 W/m<sup>2</sup> °C, y un valor promedio de 7,0 W/m<sup>2</sup>K. Se indica el término sorprendente porque es habitual siempre en convección natural que el coeficiente de convección dependa, a través del número de Grasseof, de la diferencia de temperatura entre la superficie y el flujo sin perturbar. Esta misma es una primera conclusión de este artículo.

Pero en cualquier caso es de señalar el interés de contar con datos medidos específicamente para la configuración que se trata de estudiar en esta tesis, y que, por provenir de datos experimentales de un gran número de baños romanos, parece suficientemente representativa.

Una conclusión muy interesante del artículo mencionado es la gran efectividad de los *tubuli* a la hora de transmitir calor, comparable a cualquier diseño que pudiéramos optimizar en la actualidad.

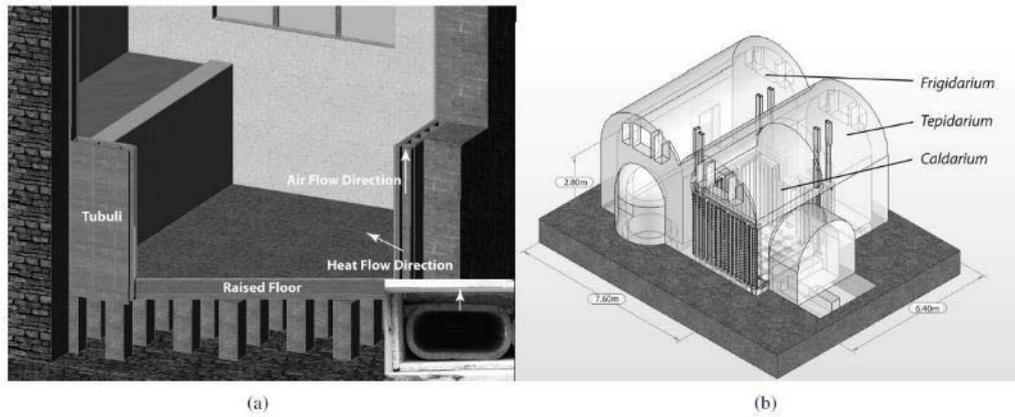


Fig. 1. (a) Diagram of Roman heating system showing key features. Inset is of a terracotta flue used as a tubulus substitute. (b) A CAD model of the replica baths built for NOVA showing the various rooms including the caldarium.

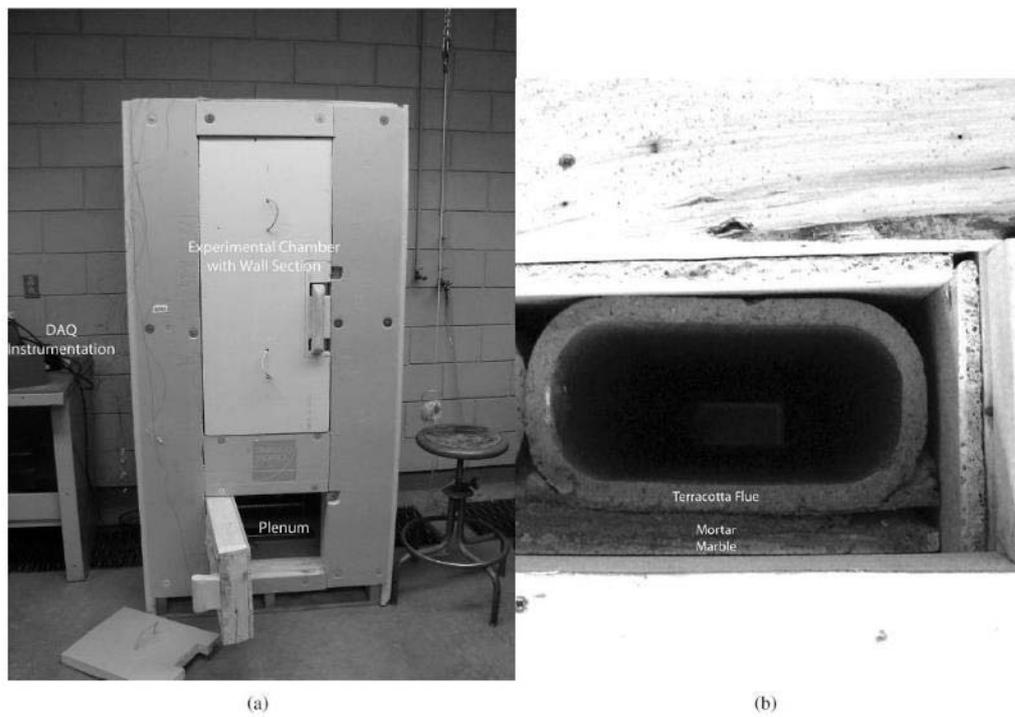


Fig. 2. (a) Picture of experimental setup. (b) Picture looking down the rightmost flue showing the layers of the wall (Photos by Matt Oetelaar).

Ilustración 270. Diagrama de los baños en los que se basa el artículo y maquinaria utilizada para determinar los flujos y temperaturas (Oetelaar y Johnston 2012, 415).

### 4.2.3. Radiación

Es el tercer modo de transmisión de calor, y el único que no necesita un medio físico. La radiación, como onda electromagnética que es, se transmite en el vacío o en cualquier medio transparente a la misma como es el caso habitualmente con el aire. Históricamente se ha tendido a despreciar o a considerar de muy pequeña magnitud, tratándose de incluir dentro del calor de convección mediante la utilización de coeficientes globales equivalentes. Esto es todavía una práctica utilizada por la propia norma EN ISO 6946 cuando define la resistencia térmica interna y externa:

Superficie	Dirección del flujo de calor		
	Arriba	+/- 30 ° de la horizontal	Abajo
Interna (R <sub>i</sub> )	0,10	0,13	0,17
Superficie	Dirección del flujo de calor		
	Arriba	+/- 30 ° de la horizontal	Abajo
Externa (R <sub>e</sub> )	0,04		

Tabla 1. Valores de la resistencia térmica interna y externa según la EN ISO 6946.

En los estándares ISO, considerar un parámetro único para describir la radiación y la convección es un intento de simplificación mediante una ecuación lineal. Al final se aplica un tratamiento similar al de conducción, suponiendo la existencia de una temperatura equivalente.

Estas son las ecuaciones:

$$h_{\text{equivalente}} = h_{\text{radiación}} + h_{\text{convección}}$$

$$h_{\text{radiación}} = Q_{\text{radiación}} / (T_{\text{superficie}} - T_{\text{reflejada}})$$

$$T_{\text{equivalente}} = (h_{\text{radiación}} T_{\text{reflejada}} + h_{\text{conv}} T_{\text{aire}}) / (T_{\text{reflejada}} + T_{\text{aire}})$$

$$Q_{\text{externo}} = h_{\text{equivalente}} \times (T_{\text{superficie}} - T_{\text{equivalente}})$$

La resistencia térmica resultante para la interfase  $R_e = 1 / h_{\text{equivalente}}$  es mayor que una simple resistencia pura de convección.

Es solo un promedio, y para cálculos más precisos, la convección y la radiación deberían ser consideradas por separado.

La radiación se puede considerar la rama de la transmisión de calor más joven. Los primeros desarrollos significativos tienen lugar a finales del siglo XIX, con los trabajos de Stefan y Boltzmann que definen la radiación total emitida por un cuerpo negro a una cierta temperatura:

$$E_{\text{radiacion}} = \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

Ecuación 13. Radiación emitida

Donde

$E_{\text{radiacion}}$  es la radiación emitida expresada en  $W/m^2$

$\varepsilon$  es la emisividad

$\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann: cuyo valor es  $5,6704 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$

$T$  es la temperatura absoluta, en grados kelvin.

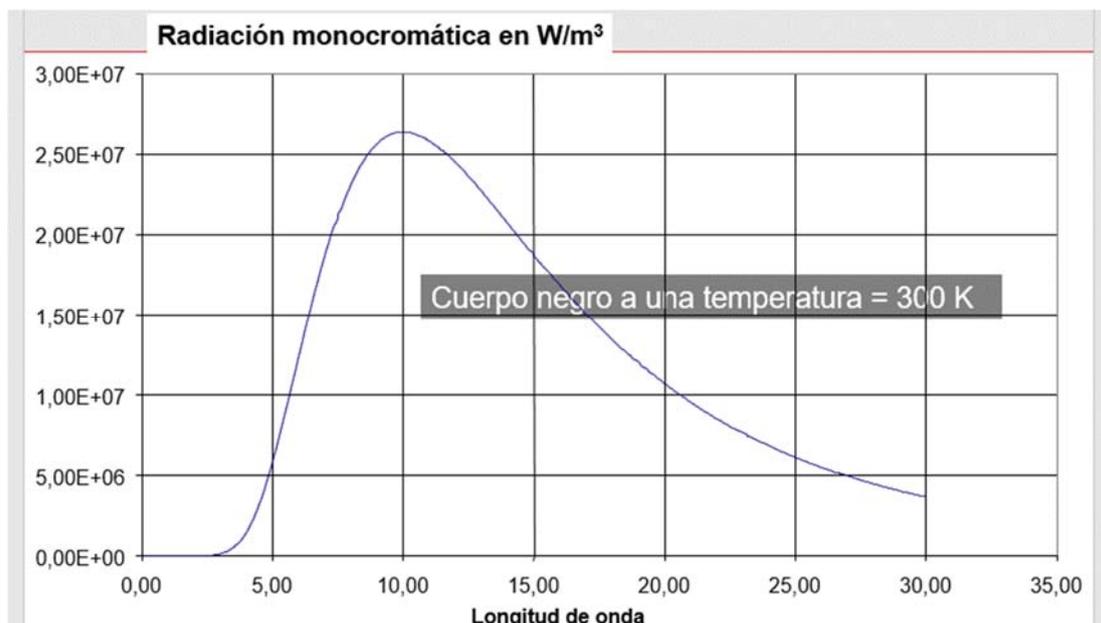


Tabla 2. Gráfica de la radiación monocromática en  $W/m^3$  de un cuerpo negro a una temperatura a 360 K. Autor: Rafael Royo.

El intento de relacionar la energía emitida además con la longitud de onda fue finalmente alcanzado por Max Planck que para ello tuvo que desarrollar su famosa teoría cuántica. La única forma de conseguir confirmar teóricamente la curva de emisión en función de la longitud de onda real, obtenida experimentalmente, fue considerar que la energía no se distribuye de forma continua en el espectro electromagnético, sino más bien se agrupa en forma de “cuantos” o “paquetes de energía”. El propio Max Planck lo consideraba una teoría estafalaria, pero la experimentación posterior ha confirmado la existencia de estos cuantos: la mayoría de los desarrollos actuales en cámaras térmicas, móviles u ordenadores aprovechan la propia teoría cuántica.

Así las curvas o funciones de Planck son las que expresan la potencia emitida a cada longitud de onda y temperatura:

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [\exp(hc / \lambda kT) - 1]} [Wm^{-3}]$$

Ecuación 14. Función de Plank

Donde

$c$  = Velocidad de la luz en el vacío =  $3 \times 10^8$  m s<sup>-1</sup>

$h$  = Constante de Planck =  $6,6 \times 10^{-34}$  J s

$k$  = Constante de Boltzmann =  $1,4 \times 10^{-23}$  J K<sup>-1</sup>

$T$  = Temperatura en K

$\lambda$  = Longitud de onda (m)

La transmisión de calor por radiación reviste una gran importancia en el caso de un edificio como es una terma romana, ya que, aproximadamente, la mitad del calor intercambiado entre la superficie interior de las paredes y sus ocupantes es por radiación.

En el estudio experimental desarrollado para la determinación de las propiedades térmicas de la *suspensura* de las termas de Mura y que se ha visto en el capítulo de la conducción, se ha utilizado cámara infrarroja para detectar el calor emitido por radiación.

Un paso previo del citado estudio fue la determinación de la emisividad de la superficie del aislamiento utilizado en la caja que contiene al pavimento. Esto era necesario previamente para poder realizar una buena estimación de la temperatura superficial.

Para poder determinar dicho valor se utilizó el método de la emisividad de referencia.



Ilustración 271. Imagen visual sobre la probeta en la que se indican los puntos de medición sobre los que se obtiene las temperaturas y emisividades.

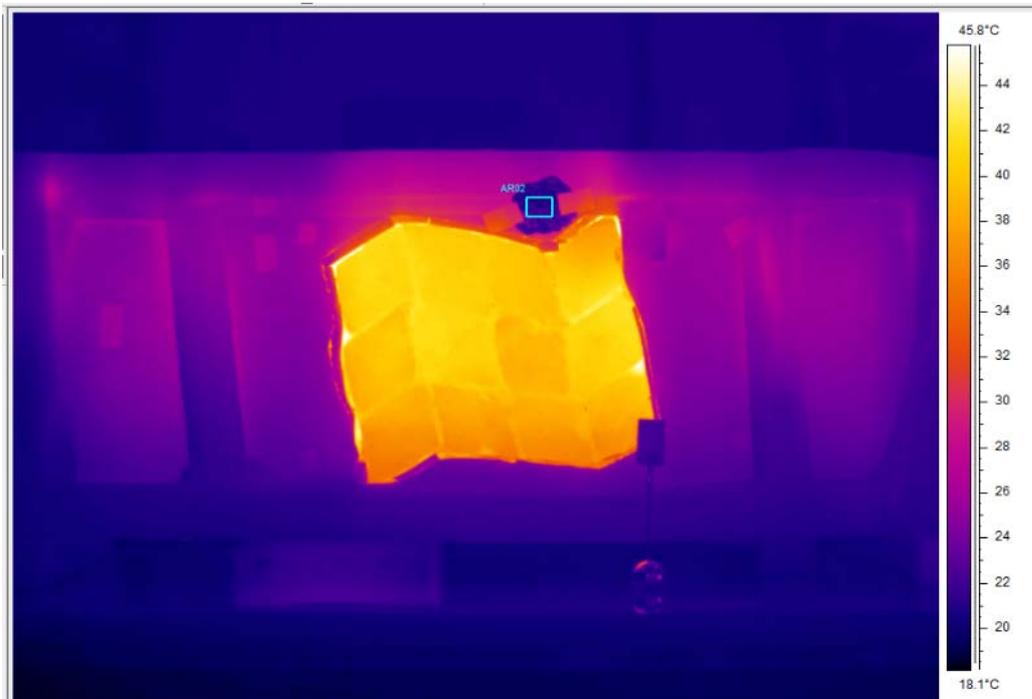


Ilustración 272. Imagen térmica de la probeta obteniendo la temperatura reflejada sobre la lámina del papel de aluminio.

El primer paso consiste en determinar la temperatura aparente reflejada sobre una lámina de un material de alta reflectividad difusa, como el caso de un papel de aluminio. Para ello se mide la temperatura utilizando en los parámetros de objeto una emisividad de uno y a distancia cero: El resultado obtenido es 21,7 °C.

En los parámetros de la cámara termográfica se introduce dicho dato como temperatura aparente reflejada. A continuación, se introduce la emisividad de la cinta de PVC pegada

sobre el aislante, que es un valor conocido de 0,98. Se coloca la distancia de medición, 2 metros y la temperatura ambiente, 22 °C.

Con todo ello, se mide la temperatura real sobre la cinta de PVC, que da un valor sobre la cinta de PVC de 26,3 °C.

A continuación, se sitúa el valor a medir sobre la superficie del aislante en un lugar muy cercano, modificando la emisividad hasta obtener sobre dicha superficie el valor de temperatura previamente medido de 26,3 °C. Por tanto, el valor finalmente obtenido de la emisividad del material aislante es de 0,796.

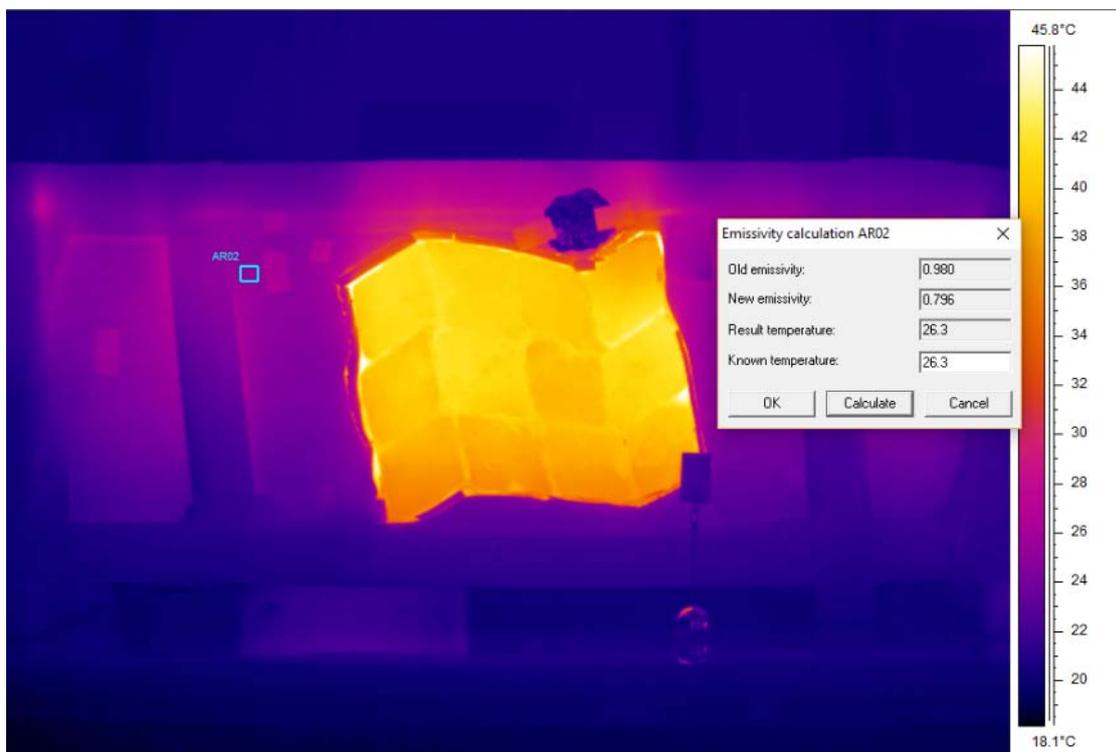


Ilustración 273. Imagen térmica de la probeta obteniendo la temperatura reflejada sobre el material aislante.

Asimismo, durante todo el transitorio de calentamiento y enfriamiento de la pieza se determinó el dato de temperatura aparente reflejada mediante la utilización del citado reflector difuso, tal y como aparecen en la imagen anterior. Esto permitió que los cálculos del calor perdido por radiación durante todo el transitorio tuviera la máxima precisión, puesto que la temperatura aparente reflejada aparece en el cálculo de dichas pérdidas por radiación tal y como muestra la ecuación descrita para las mismas:

$$Q = A \times \varepsilon \times \sigma \times (T_{\text{sup}}^4 - T_{\text{reflejada}}^4)$$

La siguiente gráfica muestra la evolución de la temperatura aparente reflejada durante todo el proceso transitorio utilizado en el estudio para la determinación del calor específico:

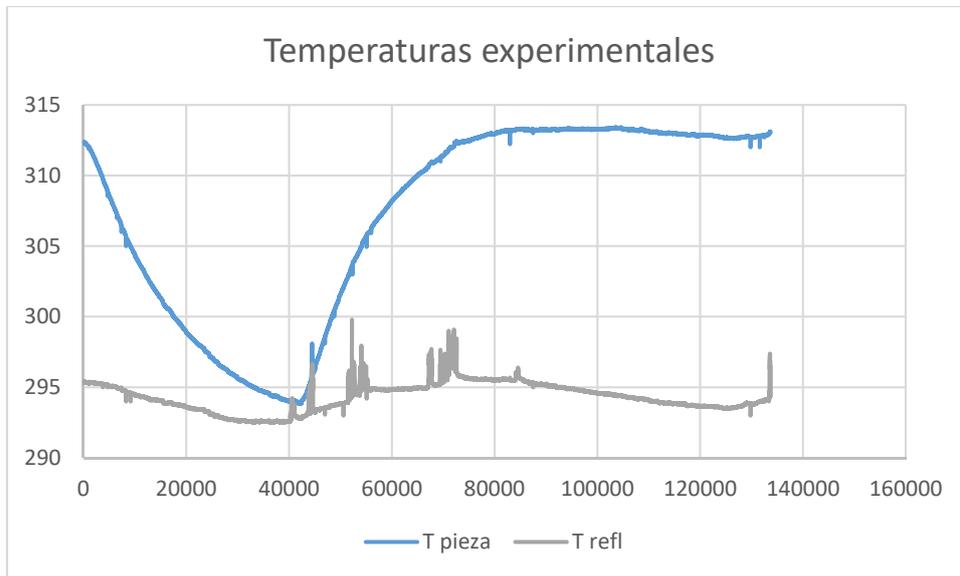


Tabla 3. Gráfica 1. Evolución de la temperatura aparente reflejada.

Hay una variación entre 292 y 296 K, que hay que tener en cuenta para obtener la máxima precisión en los resultados.

#### 4.2.4 Cálculo y modelización del proceso de enfriamiento y calentamiento

Tal y como se ha descrito en los subapartados anteriores y gracias a poder utilizar la información obtenida por la cámara térmica, se planteó la realización de un segundo experimento aprovechando el montaje de la probeta.

El objetivo de este experimento era el obtener las temperaturas durante un ciclo de calentamiento y enfriamiento de la resistencia, de forma que se pudiera observar la evolución de las temperaturas durante el calentamiento y el enfriamiento, hasta llegar siempre a condiciones estacionarias.

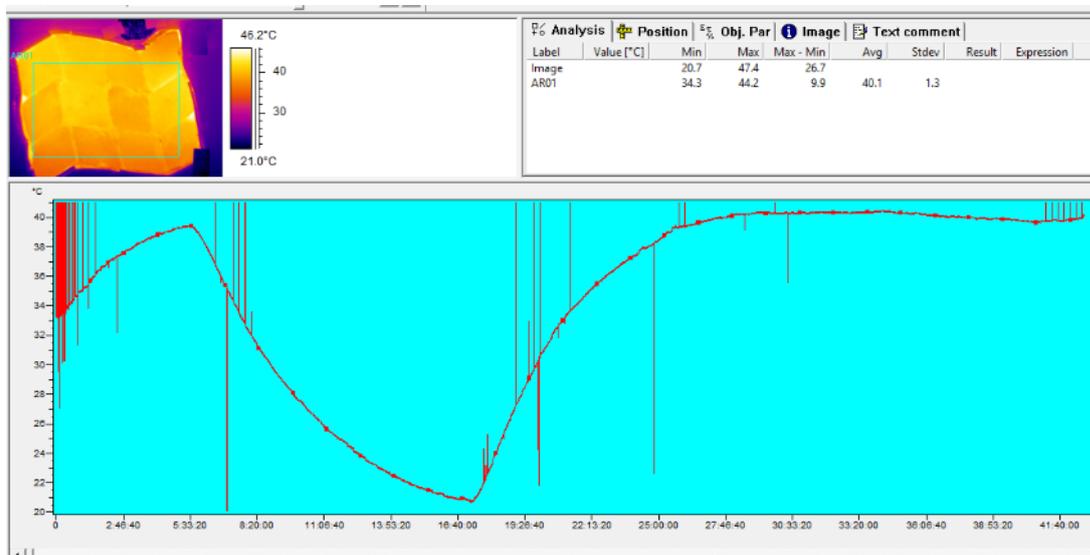


Tabla 4. Imagen captada del programa Thermacam report 2.10 de la empresa FLIR Systems, en el que se obtienen las temperaturas a lo largo del tiempo en el que se ha captado la imagen.

A partir de los ensayos realizados y las secuencias termográficas obtenidas, se dispone de los siguientes datos experimentales:

- Temperatura promedio en la superficie exterior de la pieza
- Temperatura del aire
- Temperatura reflejada

Estos datos han sido adquiridos cada 10 segundos durante las más de 40 horas que ha durado el experimento.

Para realizar el análisis se escogen los siguientes datos de temperatura de la pieza, del aire y reflejada, que se consideran suficientemente consistentes y que abarcan un proceso completo de enfriamiento y calentamiento de la pieza:

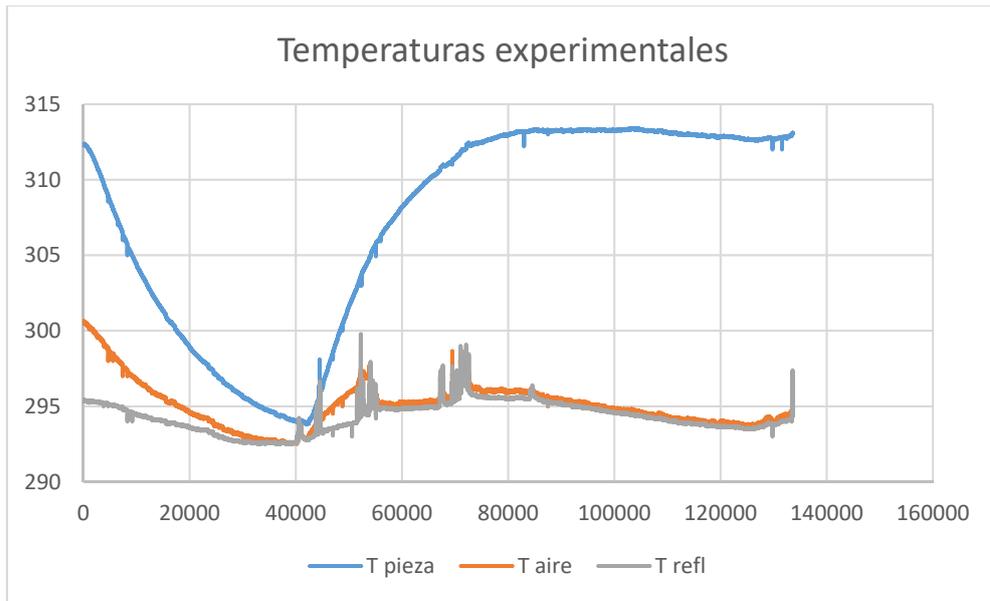


Tabla 5. Gráfica 2. Secuencia de temperaturas de la superficie de la pieza, del aire y la reflejada durante el ensayo

Para cada instante de tiempo, a partir de estos datos se obtienen las pérdidas de calor por radiación como:

$$Q_{\text{rad}} = \text{Área} \times \text{emisividad} \times \text{constante Stephan-Boltzmann} \times (T_{\text{sup}}^4 - T_{\text{reflejada}}^4)$$

Ecuación 15. Calor por radiación

Para el cálculo de las pérdidas por convección natural el proceso es más laborioso. En primer lugar, se obtiene el promedio entre la temperatura superficial y la temperatura del aire. Esta temperatura promedio es necesaria para el cálculo de las propiedades térmicas del aire, según indica Incropera en su libro *Fundamentals of heat transfer* (Incropera 1981):

- Viscosidad cinemática
- Conductividad térmica
- Número de Prandtl
- Coeficiente de expansión térmica

Estas propiedades son calculadas mediante la correspondiente interpolación en las tablas de propiedades térmicas del aire a partir de polinomios de tipo spin que dan un elevado grado de exactitud.

Con estos parámetros se calculan los números adimensionales característicos de la convección natural:

- Grashof
- Rayleigh
- y finalmente el correspondiente número de Nusselt

A partir de la correlación de transmisión de calor por convección natural correspondiente a placa plana vertical. Esta correlación es del tipo:

$$\text{Nusselt} = \text{Constante} \times \text{Rayleigh}^n$$

Ecuación 16. Número de Nusselt

Finalmente, el coeficiente de convección natural es obtenido a partir de la propia expresión del número de Nusselt:

$$h = \text{Nusselt} \times k_{\text{aire}} / \text{Altura}$$

La primera cuestión que pudiera sorprender es que el coeficiente de convección es más bajo de lo que inicialmente se presumía. Así, se comenzó considerando igual a 6, pero como muestra la siguiente gráfica, el máximo valor que alcanza es de 4, cuando se llega a condiciones estacionarias que es cuando la superficie alcanza la máxima temperatura:

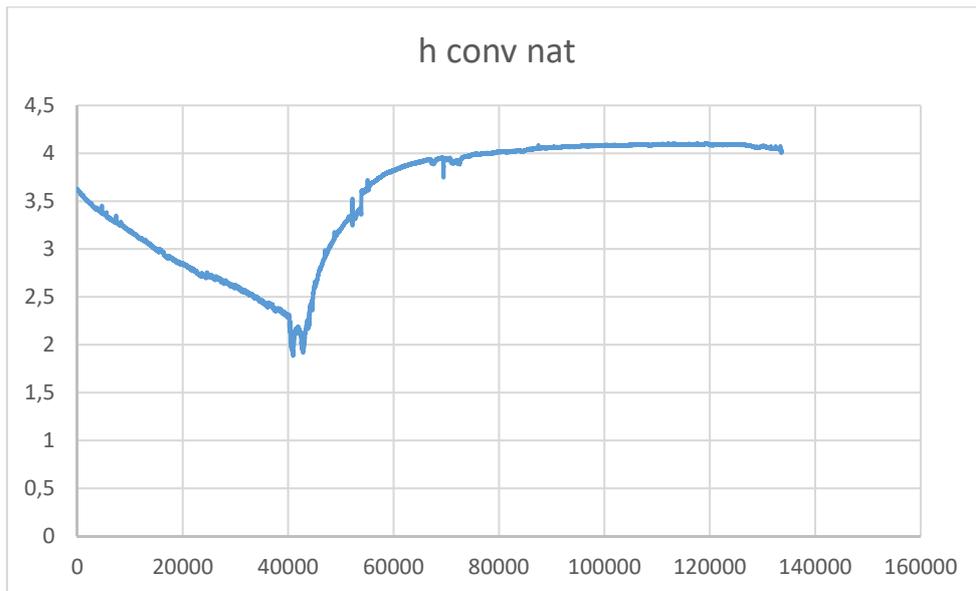


Tabla 6. Gráfica 3. Coeficiente de convección natural obtenido a partir de los cálculos realizados.

Una vez se ha determinado el coeficiente de convección natural, para todo el proceso de enfriamiento-calentamiento, las pérdidas por convección serán sencillamente:

$$Q = A \times h \times (T_{\text{sup}} - T_{\text{aire}})$$

Ecuación 17. Pérdidas de convección

Las pérdidas de calor totales serán para cada instante de tiempo la suma de estos dos términos:

$$Q \text{ pérdidas de calor} = Q \text{ convección} + Q \text{ radiación}$$

La siguiente gráfica muestra su evolución durante todo el proceso de enfriamiento-calentamiento:

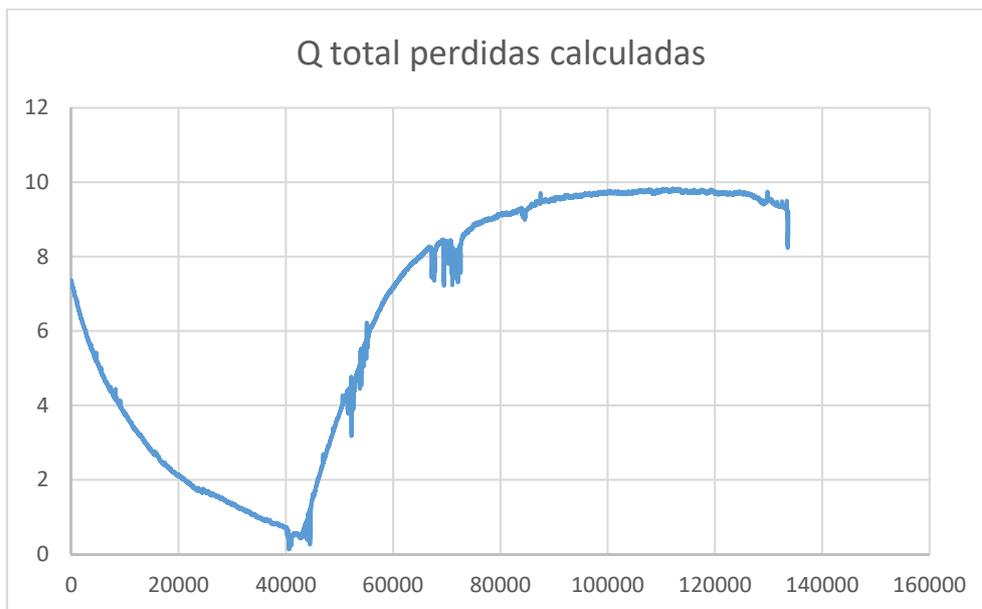


Tabla 7. Gráfica 4. Potencia total de pérdidas de calor (W).

Cuando se alcanzan condiciones estacionarias, estas pérdidas de calor serán iguales al calor suministrado, lo que permite así un cálculo más preciso del calor disipado por la pieza. Recordemos que a partir de este calor se realiza el cálculo del coeficiente de conductividad térmica. El calor suministrado, igual al calor perdido en condiciones estacionarias, se estima alrededor de 9,5 W.

Suponiendo un modelo inicial sencillo de temperatura uniforme, el proceso de enfriamiento-calentamiento se rige por la siguiente expresión transitoria, similar a la ley de enfriamiento de Newton:

$$\text{Masa} \times \text{Ce} \times dT/dt = \text{Calor suministrado} - Q \text{ convección} - Q \text{ radiación}$$

Ecuación 18. Expresión del proceso transitorio

Esta ecuación se plantea y se resuelve para cada uno de los instantes de tiempo de todo el proceso de enfriamiento y calentamiento mostrado.

En función de los datos del instante anterior se calculan las pérdidas de calor por convección y radiación. Puesto que se conoce el calor suministrado, a partir de una estimación del término  $\text{masa} \times \text{Ce}$ , se obtiene el valor de  $dT/dt$  y por tanto la nueva temperatura de la pieza para el instante de tiempo siguiente.

La siguiente captura de imagen muestra el aspecto de la hoja Excel desarrollada para estos cálculos que contiene más de 13.000 filas de cálculo:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	T pleza	T calo enfriam	T calo calent	dT/dt del calculo	T aire	T refl	Q rad calo	Q rad durante enfriam	T m
2	312.359	312.359	312.3468174	-0.012211774	300.677	295.42	5.176427014	5.176427014	306.462
3	312.319		312.3345765	-0.0122421	300.578	295.352	5.191456825	5.182234775	306.434
4	312.302		312.3223332	-0.012256992	300.47	295.328	5.185996683	5.175198416	306.39
5	312.274		312.3100625	-0.01225283	300.492	295.362	5.190066892	5.174048766	306.40
6	312.301		312.2978275	-0.012230723	300.516	295.336	5.176468822	5.173759463	306.416
7	312.298		312.285601	-0.012207433	300.548	295.367	5.166960212	5.178360904	306.416
8	312.32		312.2734127	-0.012182653	300.536	295.377	5.160117659	5.172557379	306.404
9	312.311		312.2612357	-0.01217441	300.544	295.357	5.161690885	5.174204162	306.40
10	312.299		312.2490638	-0.012165983	300.544	295.358	5.157378275	5.174586644	306.39
11	312.301		312.2369038	-0.012150494	300.556	295.365	5.151387895	5.176932831	306.39
12	312.314		312.2247628	-0.012135191	300.549	295.371	5.145684587	5.175250546	306.38
13	312.314		312.2126334	-0.012127466	300.541	295.362	5.144191208	5.177773935	306.37
14	312.314		312.2005079	-0.012110616	300.55	295.394	5.13120314	5.172115605	306.37
15	312.324		312.1884121	-0.012093164	300.522	295.404	5.124393772	5.1732899057	306.35
16	312.336		312.1763216	-0.012074998	300.574	295.404	5.120391292	5.178262238	306.37
17	312.351		312.1642621	-0.01203863	300.617	295.434	5.107983788	5.178468721	306.35
18	312.377		312.1522443	-0.012022918	300.583	295.416	5.109056086	5.176554308	306.36
19	312.356		312.1402163	-0.01201071	300.584	295.438	5.098903612	5.177678086	306.36
20	312.378		312.1282101	-0.012010299	300.565	295.412	5.102225025	5.177013173	306.34
21	312.354		312.1161957	-0.012015974	300.557	295.388	5.104981373	5.178771034	306.336
22	312.339		312.1041782	-0.012020799	300.551	295.355	5.110258723	5.177477703	306.32
23	312.308		312.0921541	-0.012012541	300.554	295.378	5.098632808	5.176602519	306.32
24	312.324		312.0801531	-0.012006904	300.511	295.364	5.099789093	5.176207599	306.294
25	312.317		312.0681403	-0.012005096	300.516	295.369	5.094414604	5.17547986	306.29
26	312.326		312.0561429	-0.011987902	300.528	295.376	5.088484793	5.177826324	306.29
27	312.326		312.0441645	-0.011974745	300.507	295.385	5.082000724	5.169004666	306.274
28	312.307		312.0321934	-0.011949206	300.578	295.397	5.074677924	5.174920841	306.304
29	312.335		312.0202661	-0.011925596	300.574	295.384	5.074381183	5.174589521	306.2
30	312.323		312.0083422	-0.011921607	300.558	295.383	5.07072068	5.172217131	306.24
31	312.315		311.9964229	-0.011913557	300.509	295.347	5.076875097	5.170711239	306.24
32	312.28		311.9844731	-0.011920989	300.548	295.389	5.061152502	5.176501408	306.264
33	312.333		311.9725809	-0.011901975	300.498	295.39	5.05694096	5.171579978	306.234
34	312.319		311.9606752	-0.011922251	300.435	295.347	5.065064266	5.169717195	306.19
35	312.277		311.9487364	-0.011911275	300.516	295.375	5.053270566	5.169820242	306.234
36	312.301								

Ilustración 274. Pantalla durante el cálculo del proceso transitorio.

El término de calor suministrado es evidentemente cero durante el enfriamiento, e igual a los 9,5 W suministrados por la resistencia eléctrica durante el calentamiento.

El objetivo ahora es estimar el término producto de masa  $\times$  calor específico. Para ello se debe ser capaz de modelar correctamente las temperaturas de la pieza durante todo el proceso de enfriamiento-calentamiento. Con un valor de 6000 J/K, se obtienen los siguientes resultados:

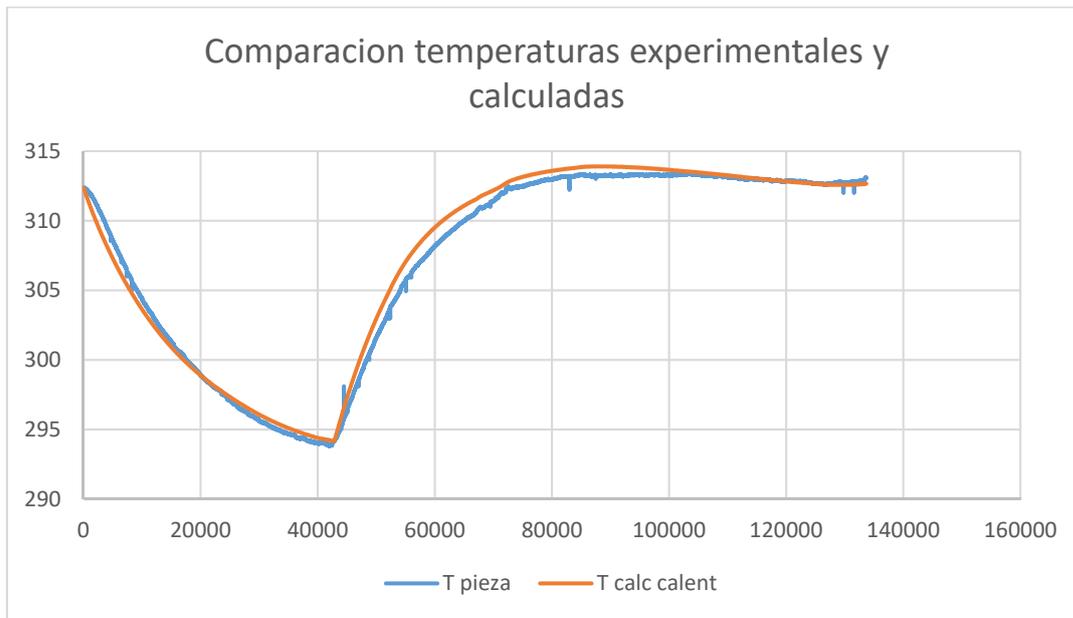


Tabla 8. Gráfica 5. Comparativa de las temperaturas teóricas y experimentales.

Como se puede observar, la concordancia de las temperaturas calculadas con las experimentales obtenidas mediante la termografía es muy elevada, lo que permite concluir que el parámetro ha sido estimado de forma satisfactoria.

Así, finalmente a partir de la masa de la pieza, estimamos el calor específico.



Ilustración 275. Peso de la muestra de la probeta.

Puesto que la masa de la pieza es de 8127,9 gramos, el calor específico obtenido será finalmente:

$$C_e = 6000 / 8127,9 = 738,2 \text{ J /kg K}$$

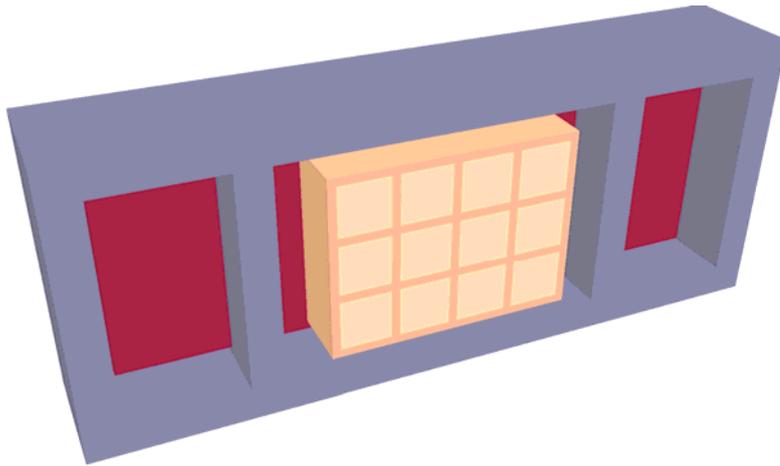
Por último y para el contraste previo de todo el proceso de simulación que se presenta en el capítulo siguiente, se pretende comprobar la relación de los datos obtenidos mediante las ecuaciones teóricas y mediante las pruebas experimentales con las simulaciones informáticas con el mismo programa utilizado. Esta es una condición previa y fundamental para asegurar el rigor de todo el análisis realizado posteriormente.

Estas simulaciones están destinadas a evaluar mediante el análisis de la dinámica de fluidos, el comportamiento de la instalación termal según el modelo arquitectónico introducido<sup>225</sup>.

Por tal motivo, y ya que se conoce el resultado teórico y experimental, se decide programar la probeta ensayada experimentalmente con los programas utilizados en la simulación informática. Los resultados obtenidos y su comparación con los ya comentados nos muestran la elevada fiabilidad del sistema de simulación y la precisión del mismo.

---

<sup>225</sup> Las explicaciones de todo el proceso y los medios utilizados se aportan en el capítulo siguiente.



44/11 1

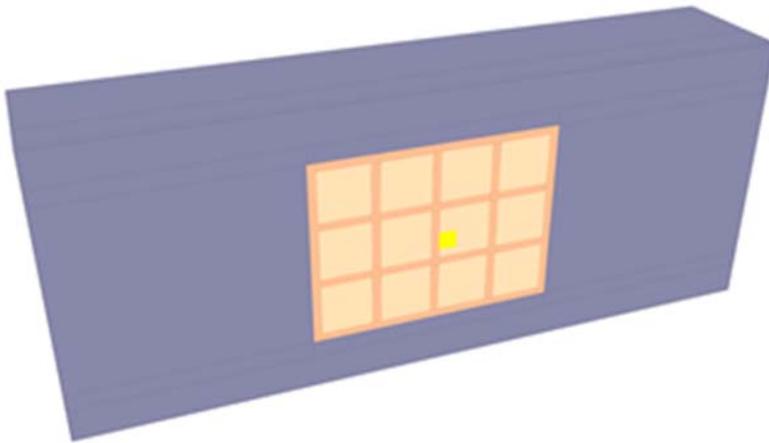


Ilustración 276. Modelo informático calculado para la simulación computacional, en el que se introducen los valores de las características de cada material.

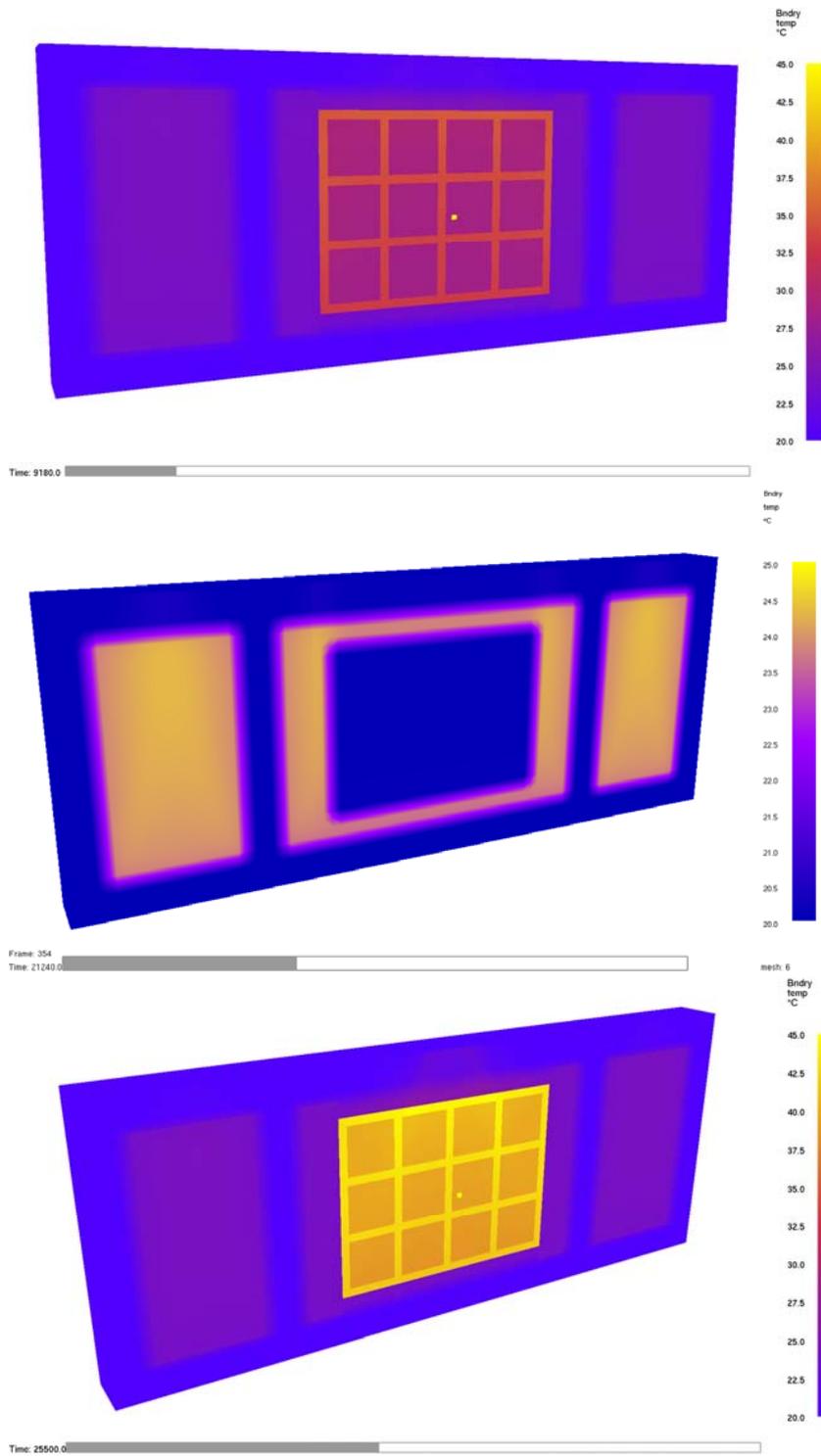


Ilustración 277. Distintas secuencias durante la simulación informática.

Los resultados obtenidos tras esta simulación son los siguientes:

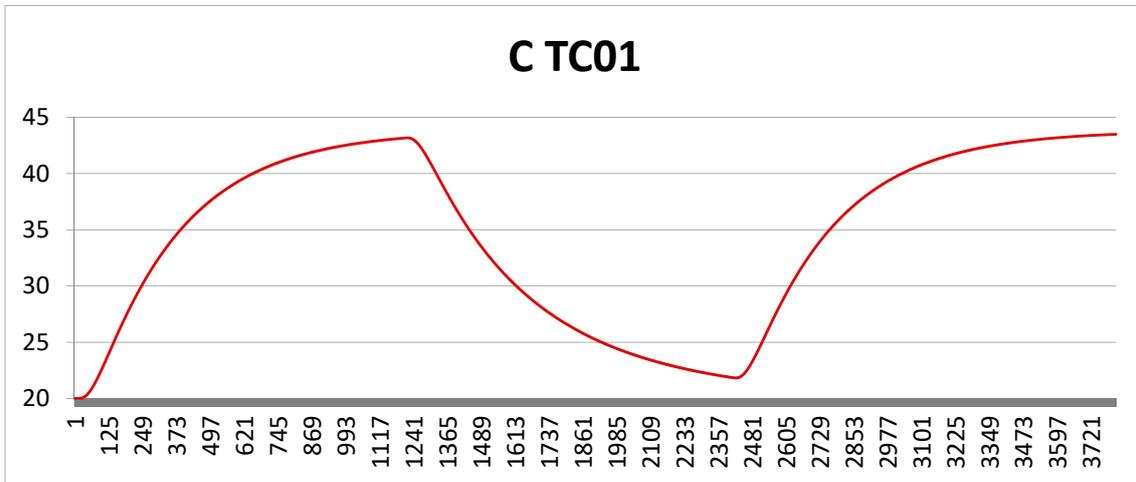


Tabla 9. Resultado de las temperaturas alcanzadas según el tiempo en el que transcurre la simulación.

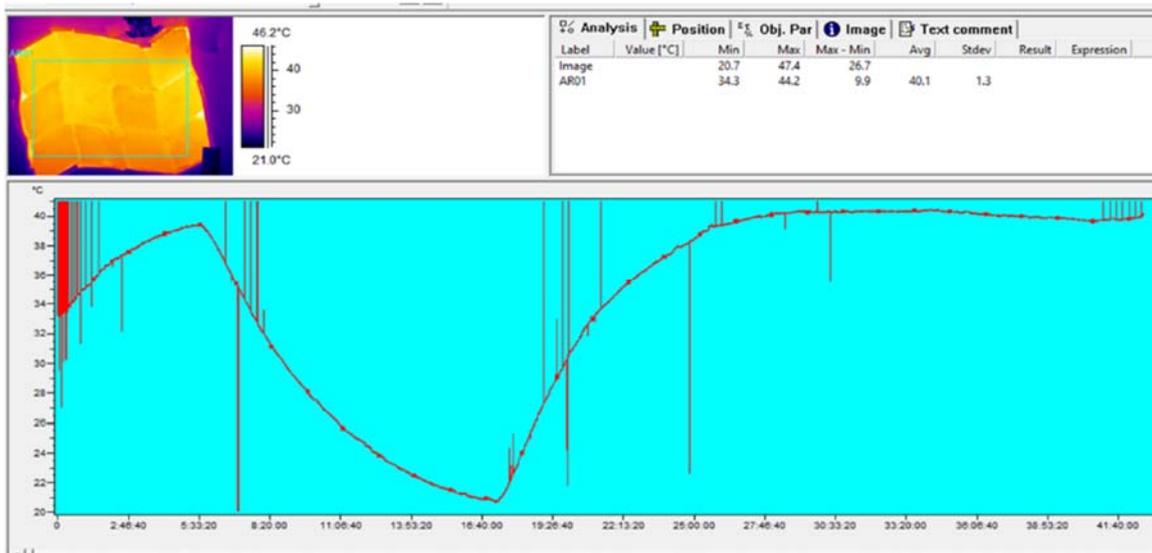


Tabla 10. Resultado que se obtiene en la fase experimental a partir de los datos capturados por la cámara térmica.

Por tanto, se comprueba que los datos obtenidos mediante la simulación y los datos experimentales obtenidos durante el ensayo, siguen prácticamente el mismo proceso de calentamiento y enfriamiento del material, concluyendo la excelente idoneidad del método planteado.

#### 4.2.5 Caracterización térmica de tres tipos de piedra

Siguiendo el procedimiento previamente aplicado a la pieza del *caldarium*, se caracterizaron las propiedades térmicas de tres tipos de piedra diferentes utilizadas en las termas, para poder averiguar cuál es la conductividad térmica y el calor específico de cada una de ellas.

Las tres piedras elegidas son calizas que se han utilizado en zonas diferentes presentando en apariencia un aspecto similar. La caliza 1 es la denominada “piedra de caragolet” o toba y se utiliza en las zonas más cercanas a los hornos. La caliza 2 es una roca más compacta utilizada en los muros y la caliza 3 corresponde a la piedra azul de Alcublas utilizadas en las zonas de paso, umbrales o muros de los *alveus*.

Para averiguar sus propiedades térmicas las piezas han sido calentadas mediante una resistencia eléctrica, aislándose convenientemente el conjunto para asegurar que todo el calor que se introduce en cada pieza de piedra se conduce hasta la superficie exterior.

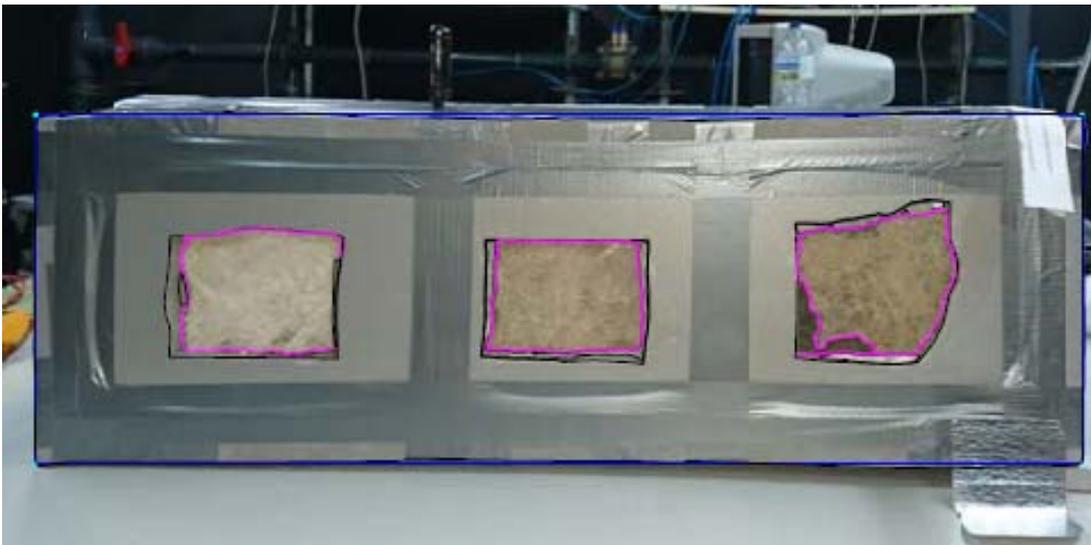


Ilustración 278. Ensayo de caracterización térmica de los tres pétreos.

A partir de los ensayos realizados y las secuencias termográficas obtenidas, se dispone de los siguientes datos experimentales:

- Temperatura promedio en la superficie exterior de la pieza
- Temperatura del aire
- Temperatura reflejada

En este caso los datos han sido adquiridos a una imagen infrarroja por segundo.

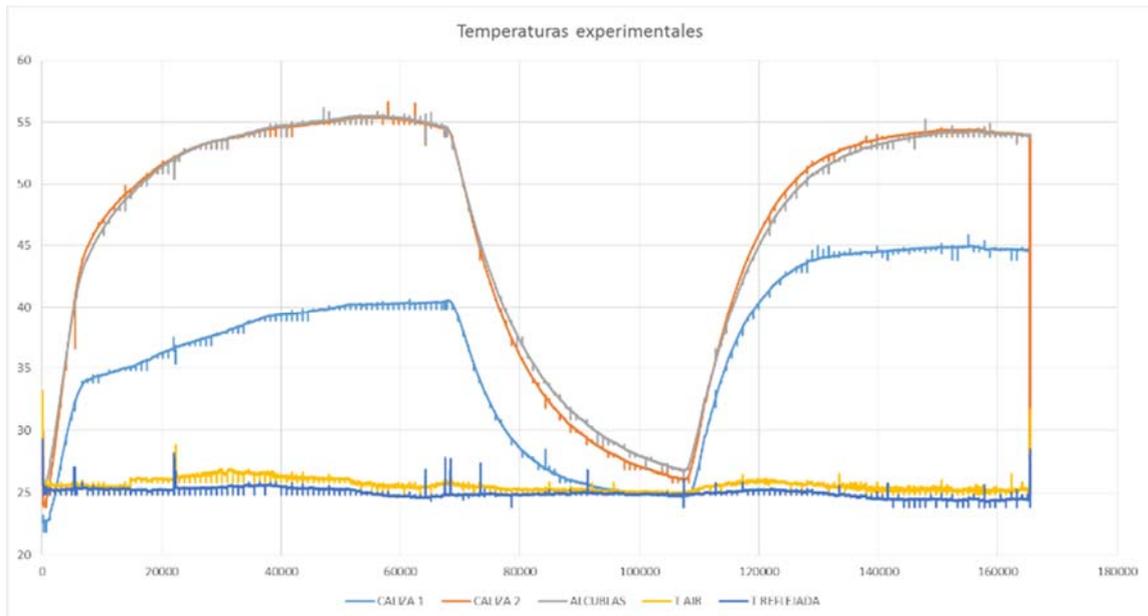


Tabla 11. Gráfico que representa los resultados experimentales de las temperaturas alcanzadas en la superficie de cada piedra.

Para los tres tipos de piedra se ha realizado un proceso de calentamiento-enfriamiento-calentamiento hasta alcanzar en cada caso condiciones estacionarias. El proceso, así, se ha prolongado durante más de 45 horas, casi dos días.

Para cada instante de tiempo, a partir de estos datos se obtienen las pérdidas de calor por radiación como:

$$Q_{\text{rad}} = A \times \text{emisividad} \times \text{constante Stephan-Boltzmann} \times (T_{\text{sup}}^4 - T_{\text{reflejada}}^4)$$

Para el cálculo de las pérdidas de convección el proceso es más laborioso. En primer lugar, se obtiene el promedio entre la temperatura superficial y la temperatura del aire. A esta temperatura promedio se calculan las propiedades térmicas necesarias para el aire:

- Viscosidad cinemática
- Conductividad térmica
- Número de Prandtl
- Coeficiente de expansión térmica

Mediante la correspondiente interpolación en tablas de aire a partir de polinomios de tipo spin.

Con estos parámetros se calculan los números adimensionales característicos de la convección natural, Grassof, Rayleigh y, finalmente, el correspondiente número de

Nusselt a partir de la correlación de transmisión de calor por convección natural correspondiente a placa plana vertical. Esta correlación es del tipo:

$$\text{Nusselt} = A \times \text{Rayleigh}^n$$

Finalmente el coeficiente de convección natural es obtenido a partir de la propia expresión del número de Nusselt:

$$h = \text{Nusselt} \times k_{\text{aire}} / \text{Altura}$$

Una vez se ha determinado el coeficiente de convección natural, para todo el proceso de enfriamiento-calentamiento, las pérdidas por convección serán sencillamente:

$$Q_{\text{convección}} = A \times h \times (T_{\text{sup}} - T_{\text{aire}})$$

Las pérdidas de calor totales serán para cada instante de tiempo la suma de estos dos términos:

$$Q_{\text{pérdidas de calor}} = Q_{\text{convección}} + Q_{\text{radiación}}$$

Cuando se alcanzan condiciones estacionarias, estas pérdidas de calor serán iguales al calor suministrado, lo que permite así un cálculo más preciso del calor disipado por la pieza. Recordemos que a partir de este calor se realiza el cálculo del coeficiente de conductividad térmica

Suponiendo un modelo inicial sencillo de temperatura uniforme, el proceso de enfriamiento-calentamiento se rige por la ecuación transitoria:

$$\text{Masa} \times \text{calor específico} \times dT/dt = \text{calor suministrado} - Q_{\text{convección}} - Q_{\text{radiación}}$$

El término de calor suministrado se ajusta para que se consiga estimar una temperatura calculada para la pieza semejante a la experimental durante el calentamiento-enfriamiento-calentamiento.

El otro término que se ajusta es producto de masa  $\times$  calor específico. Para ello se debe ser capaz de modelar las temperaturas de la pieza durante todo el proceso de enfriamiento-calentamiento.

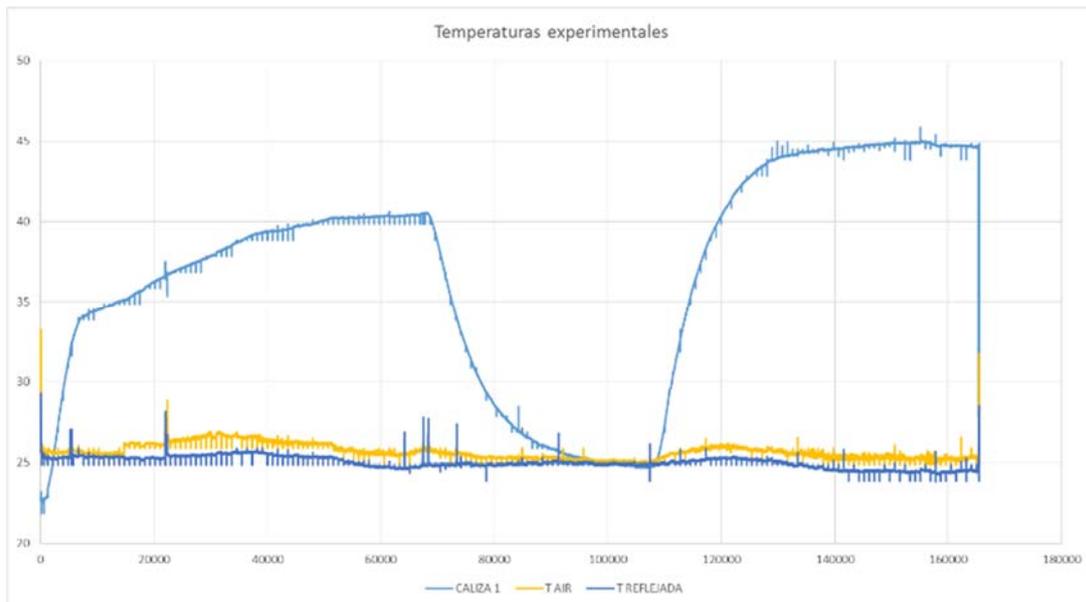
Como se observará, la concordancia de las temperaturas calculadas con las experimentales obtenidas mediante la termografía es muy elevada, lo que permite concluir que los cálculos son realmente muy satisfactorios.

Así, finalmente, a partir de la masa de la pieza, tendremos una primera estimación del calor específico.

Vamos a describir los cálculos y resultados para cada tipo de piedra analizado.

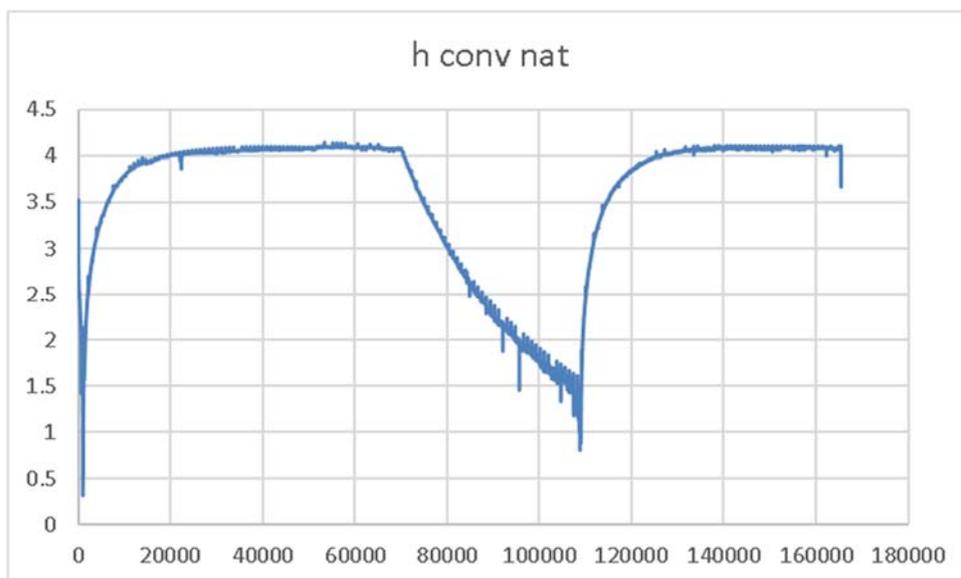
## CALIZA 1

Estos son los datos experimentales de temperatura de partida:



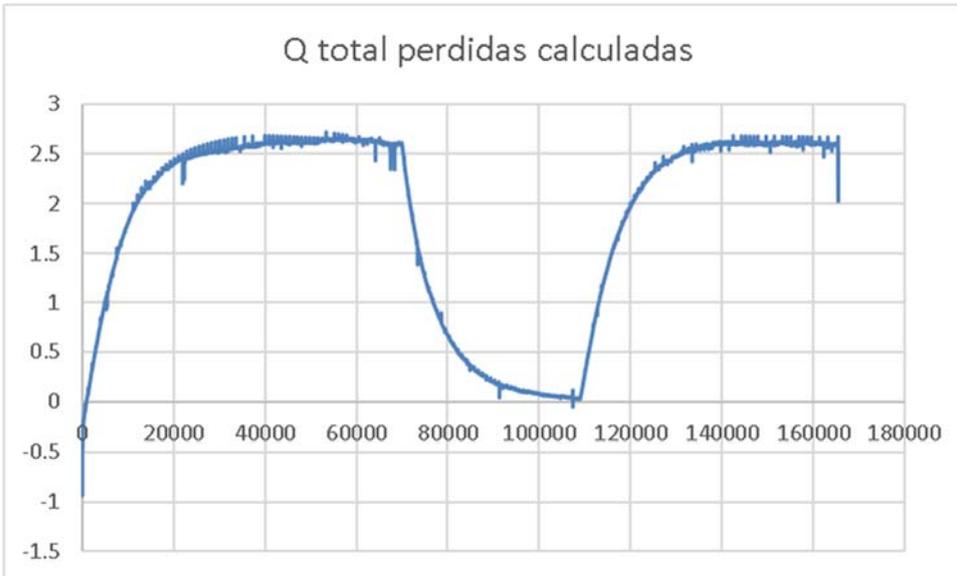
La curva de calentamiento inicial tiene una forma extraña, diferente a la de calentamiento final, debido a que inicialmente y después de su corte, esta pieza estaba muy saturada de agua, con lo que el calentamiento inicial sirvió en gran parte para su secado.

El coeficiente de convección natural calculado durante todo el proceso presenta una fuerte variación, como se puede observar, al ser dependiente de las temperaturas superficiales de la piedra y de la del aire:

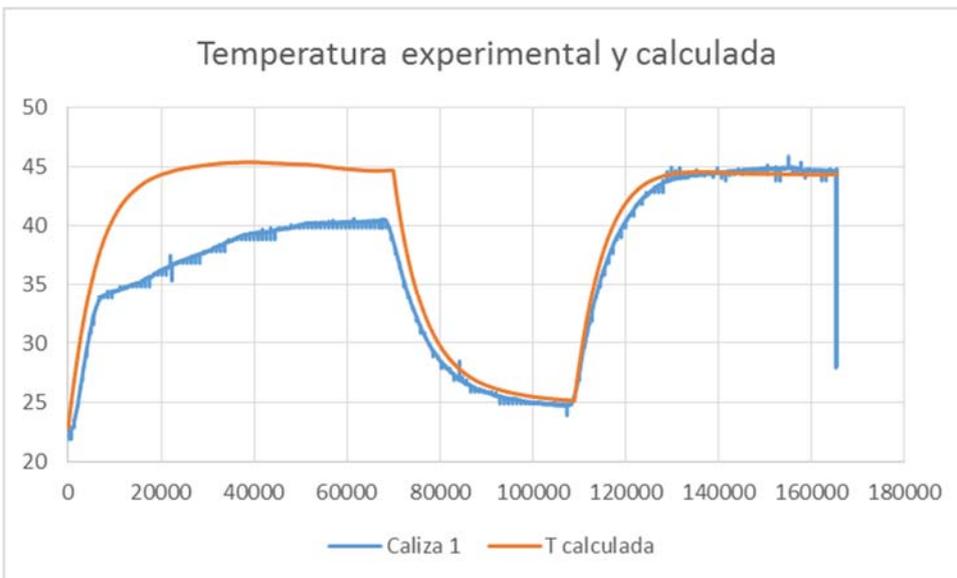


El valor alcanzado en condiciones estacionarias es de alrededor de  $4,08 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Las pérdidas de calor, igual al calor aportado en condiciones estacionarias, se calculan seguidamente:



Con lo que tenemos una estimación del calor que atraviesa esta primera piedra por conducción, 2,6 W.

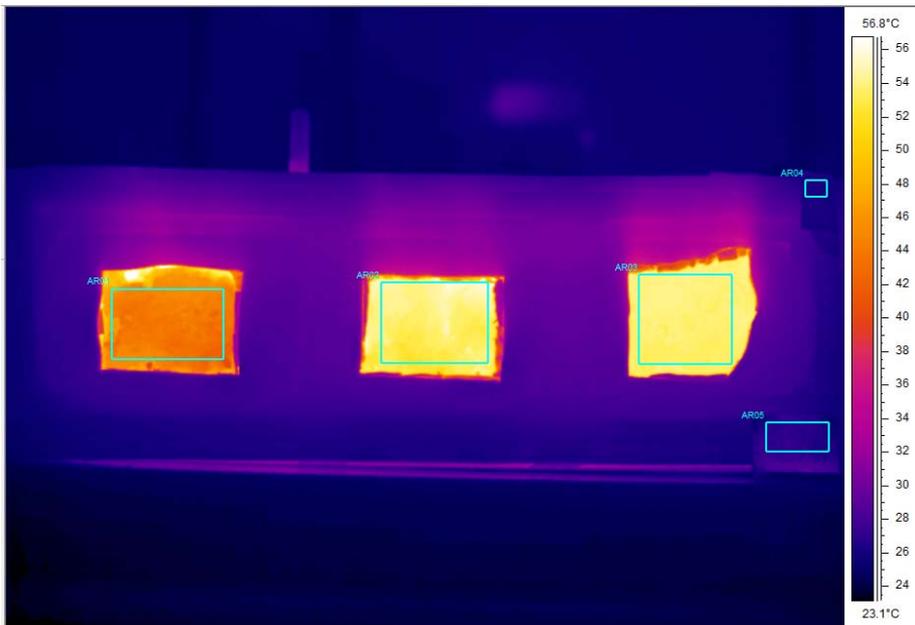


Así como del producto de masa  $\times$  calor específico, siendo el valor más adecuado utilizado durante todo el proceso mostrado de 850 J/K. Puesto que la masa es de 1,207 kg, el calor específico correspondiente sería:

$$C_e = 704,2 \text{ J/kg K}$$

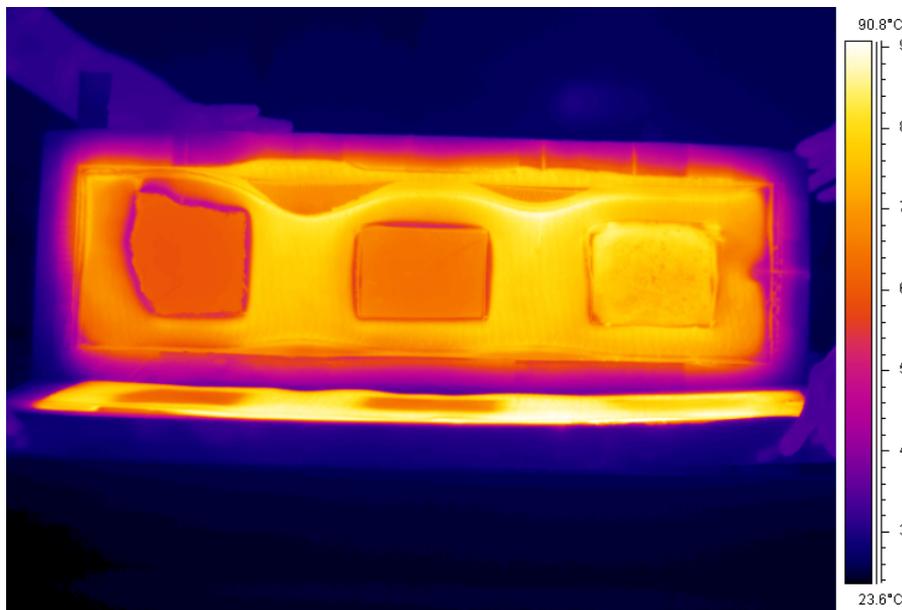
Para el cálculo de la conductividad térmica es necesario en primer lugar la estimación de calor conducido que se acaba de realizar, que es de 2,6 W.

En segundo lugar, las temperaturas a ambos lados de la piedra en condiciones estacionarias. La temperatura exterior se obtiene directamente de la termografía:



Siendo en este caso de 44.6 °C.

La temperatura del otro lado se obtiene una vez se abre el conjunto, y es de 76,7 °C.



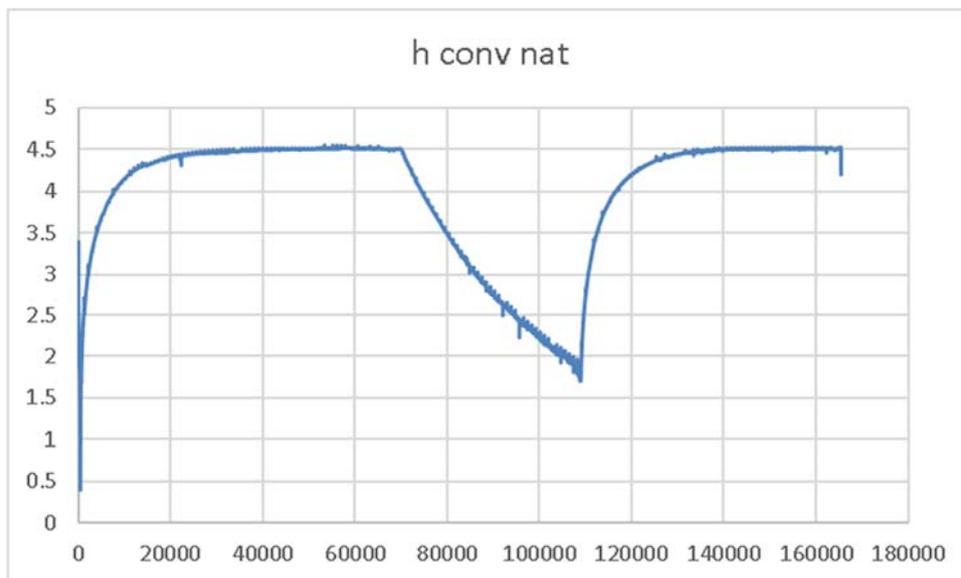
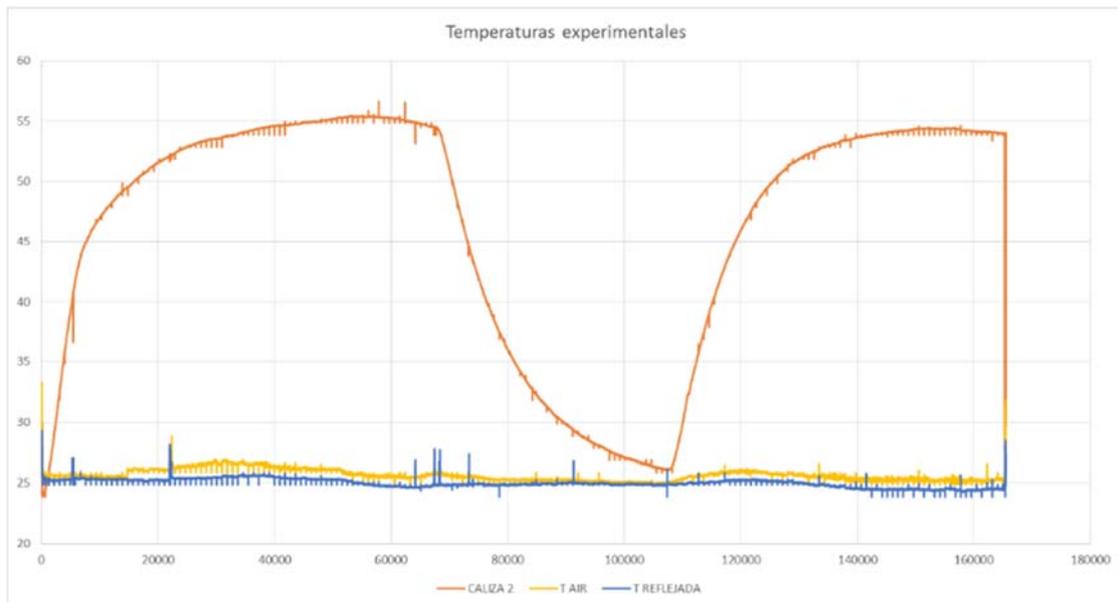
Con estos valores y el espesor y superficie de la pieza de piedra, respectivamente 0.08 y 0,0131 m<sup>2</sup>, aplicando la ecuación de Fourier simplificada:

$$Q = k \times A \times (T_{\text{cal}} - T_{\text{fría}}) / L$$

Se despeja finalmente la conductividad térmica, que resulta ser  $k = 0,49 \text{ W/m K}$ .

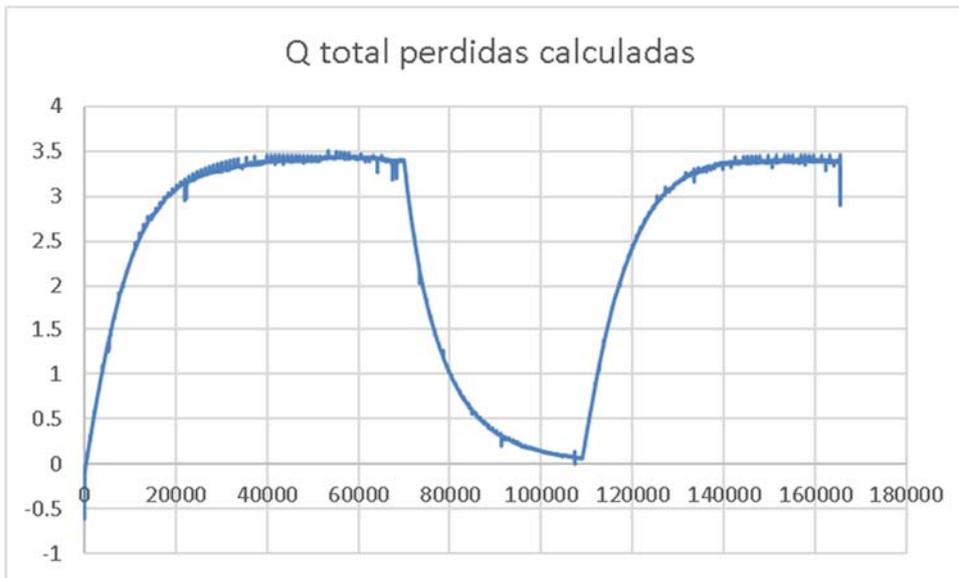
## CALIZA 2

El proceso seguido es muy similar, con lo que solo se van a mostrar los resultados:

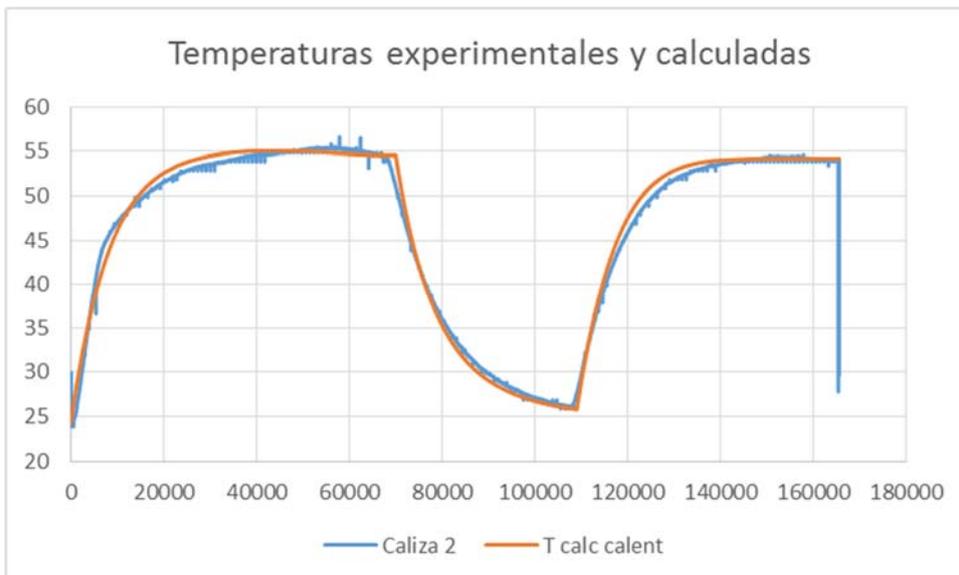


En este caso el máximo valor alcanzado en condiciones estacionarias es de 4,5 W/m<sup>2</sup> K.

Las pérdidas de calor tienen la evolución que seguidamente se muestra:



Ajustamos así el valor de la potencia de calentamiento introducida en 3,4 W.



Y para conseguir una evolución transitoria similar a la experimental, el producto de masa  $\times$  calor específico se ajusta de nuevo en un valor aproximado de 1000 J/K.

Puesto que la masa es de 2,181 kg, el calor específico correspondiente es:

$$C_e = 458,5 \text{ J/kg K}$$

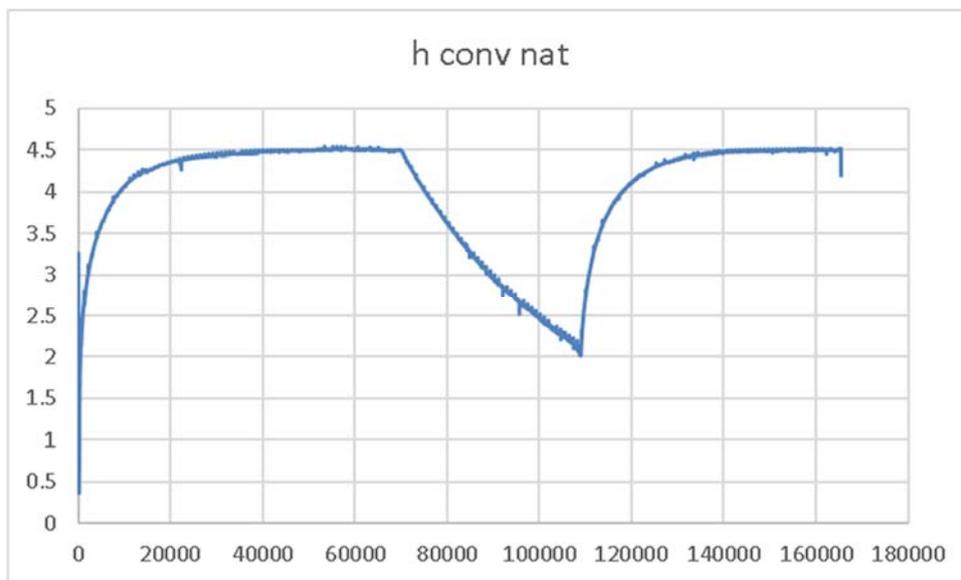
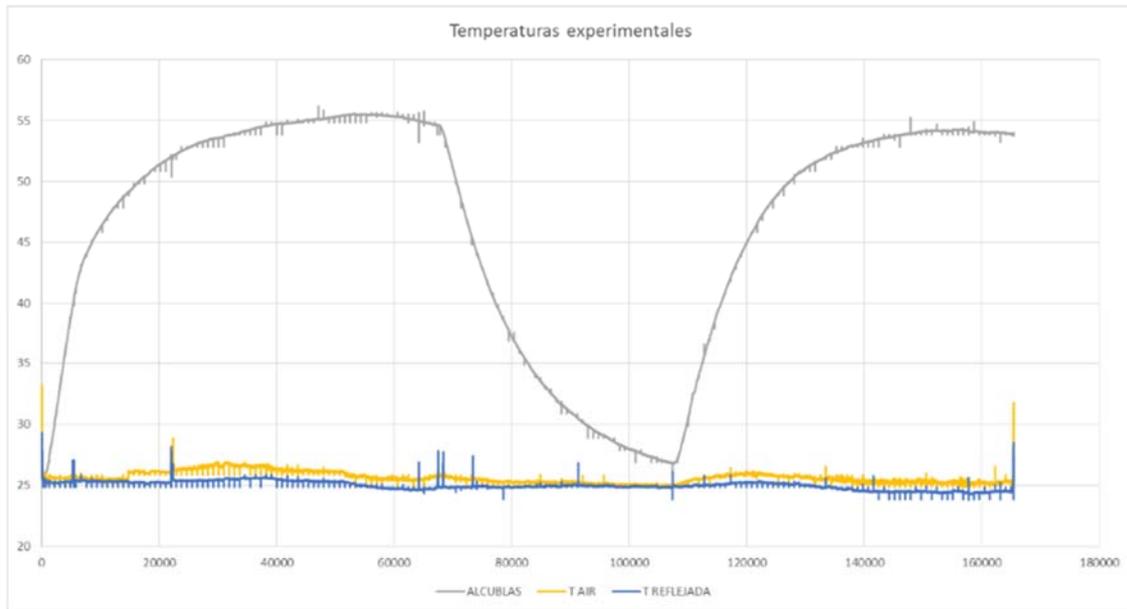
Para el cálculo de la conductividad térmica es necesario en primer lugar la estimación de calor conducido que se acaba de realizar, que es de 3,4 W.

En segundo lugar, las temperaturas a ambos lados de la piedra en condiciones estacionarias. La temperatura exterior resulta ser de 54 °C, y la interior de 64,7 °C.

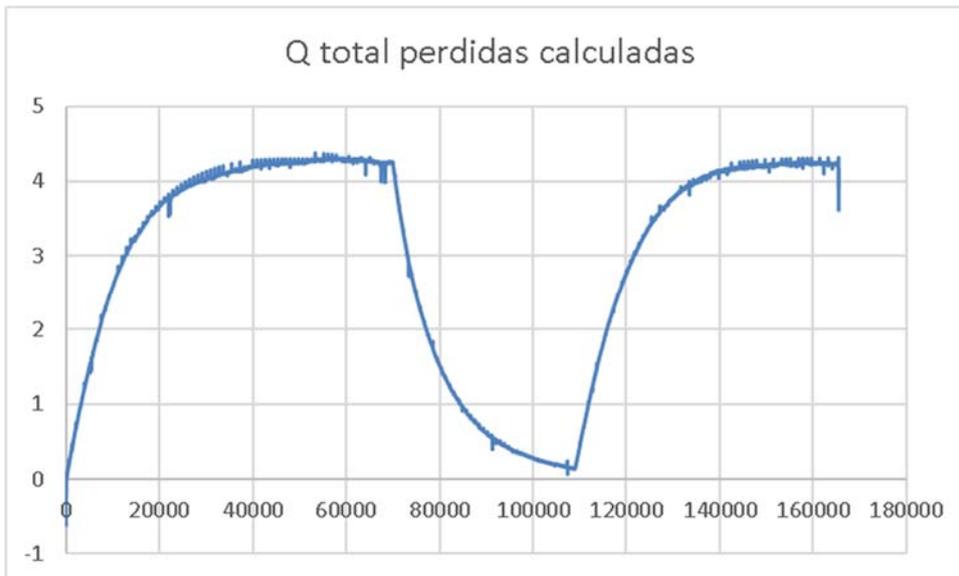
Con estos valores, y las características geométricas descritas, espesor y superficie, se calcula la conductividad térmica de esta piedra caliza 2, que resulta ser de:

$$k = 2,44 \text{ W/m K.}$$

### CALIZA 3. ALCUBLAS

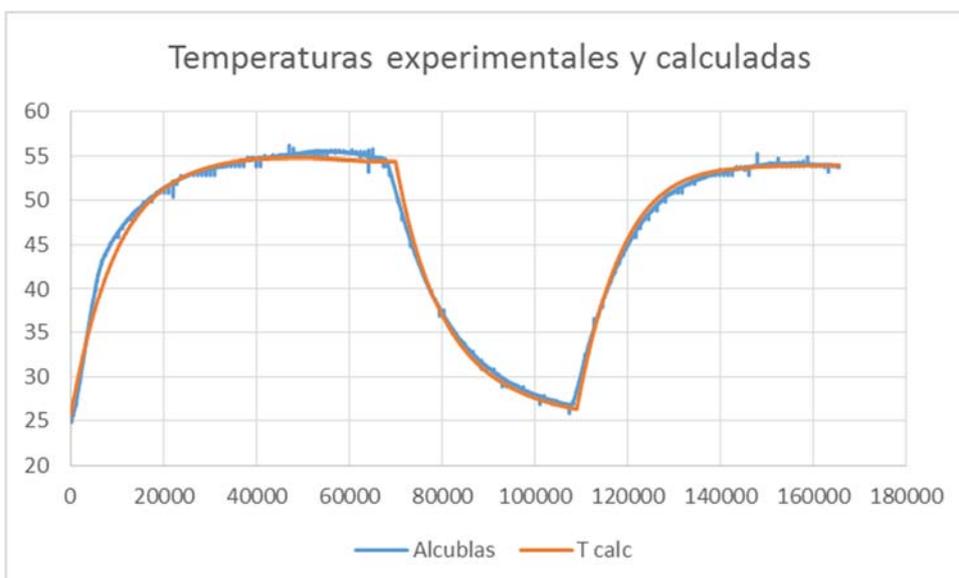


De nuevo se obtiene un valor máximo de 4,5 W/m K.



Así las pérdidas de calor, y por tanto la potencia calorífica introducida en condiciones estacionarias es de 4,25 W.

Con dicho valor se ajusta el producto de masa  $\times$  calor específico para alcanzar la máxima coincidencia posible en las temperaturas de la pieza durante todo el proceso transitorio y estacionario:



Dicho valor en este caso es de 1500 J/K, un 50 % mayor que en los otros dos tipos de piedra.

Puesto que la masa es de 2,695 kg, el calor específico correspondiente será:

$$C_e = 556,6 \text{ J/kg K}$$

A partir del calor estimado y de las temperaturas superficiales interiores y exteriores alcanzadas en condiciones estacionarias, y determinadas a partir de las termografías infrarrojas:

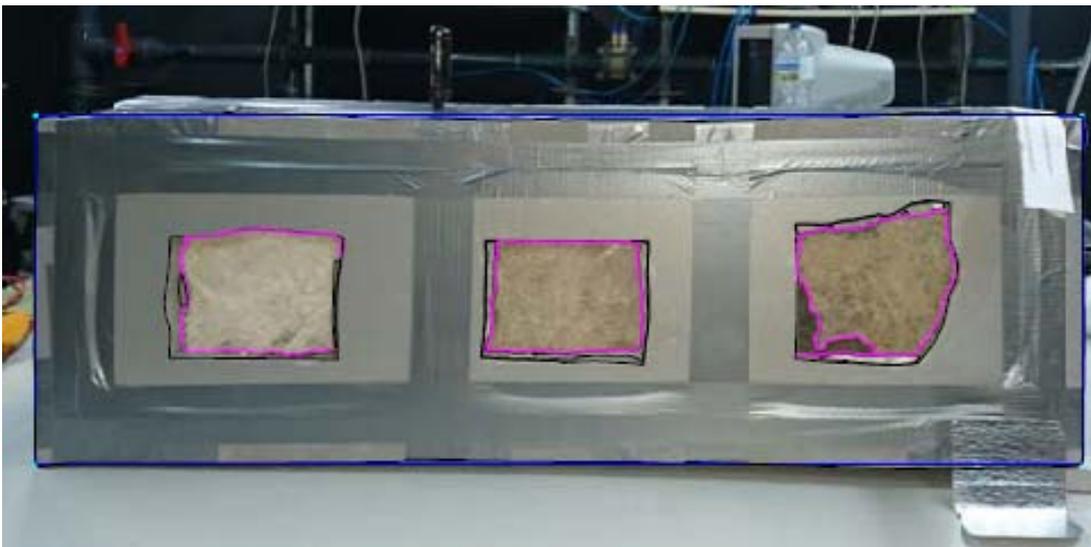
Temperatura interior: 59,7 °C

Temperatura exterior: 54 °C

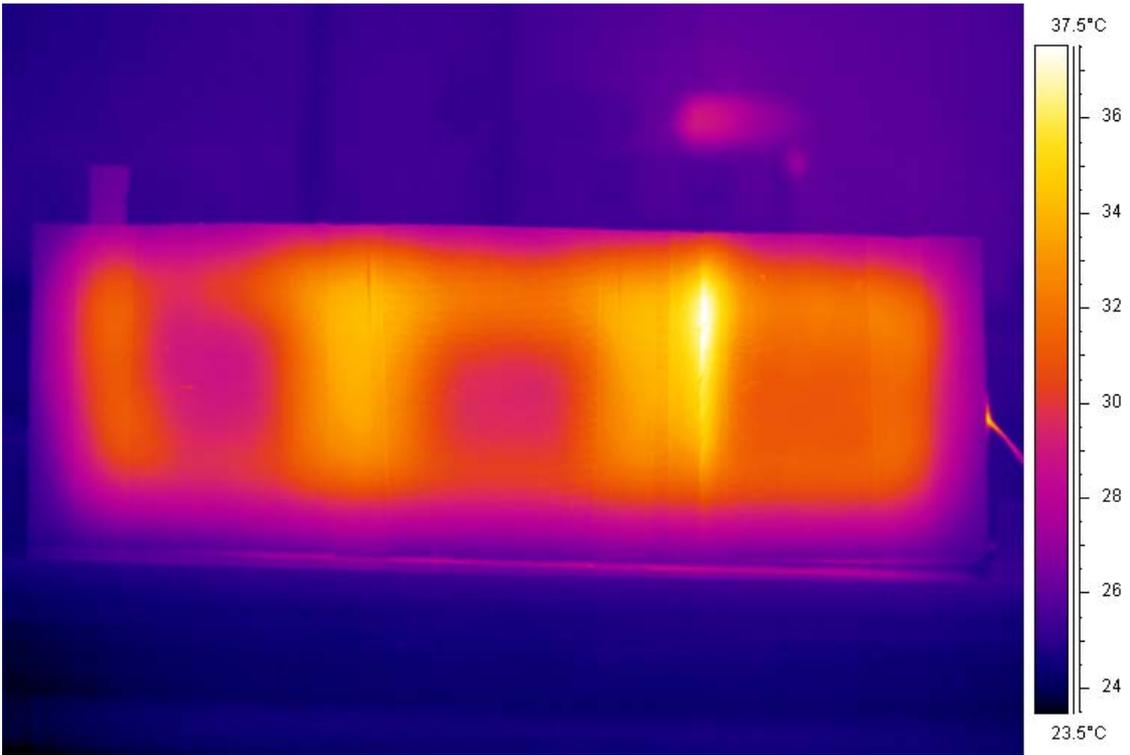
Se determina finalmente la conductividad térmica, que en este caso es la mayor de las tres piedras ensayadas:  **$k = 4,66 \text{ W/m K}$**

### **BALANCE DE ENERGÍA PARA EL ENSAMBLAJE COMPLETO**

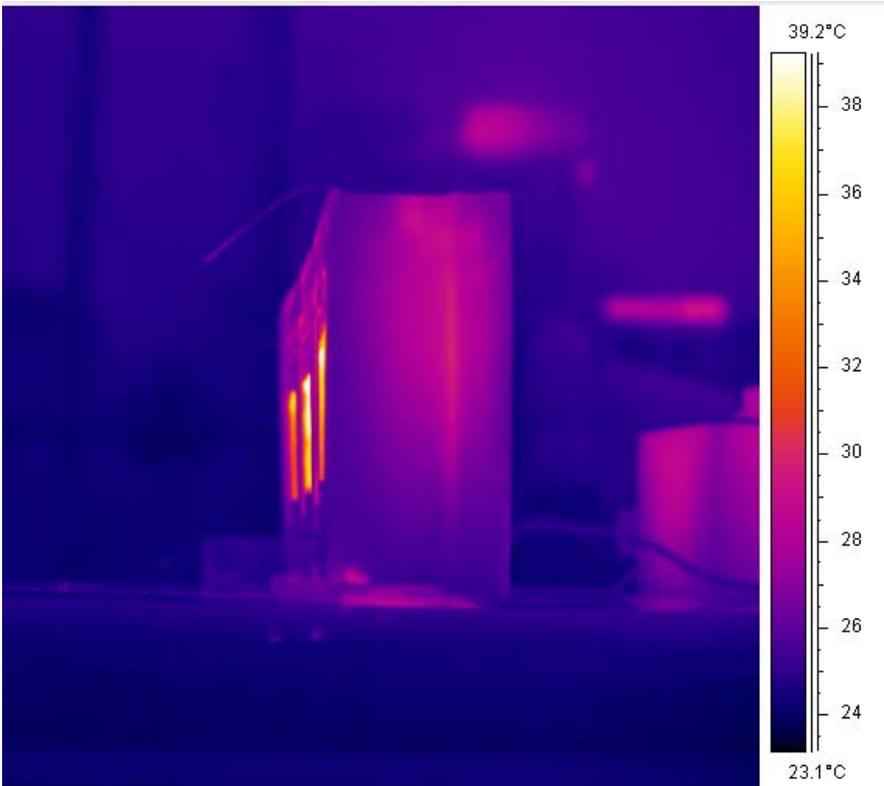
Para confirmar que los datos obtenidos son coherentes, se miden las temperaturas superficiales de todas las caras que componen el prisma del conjunto ensamblado de la resistencia y las piedras con el correspondiente aislante, según la imagen mostrada inicialmente:



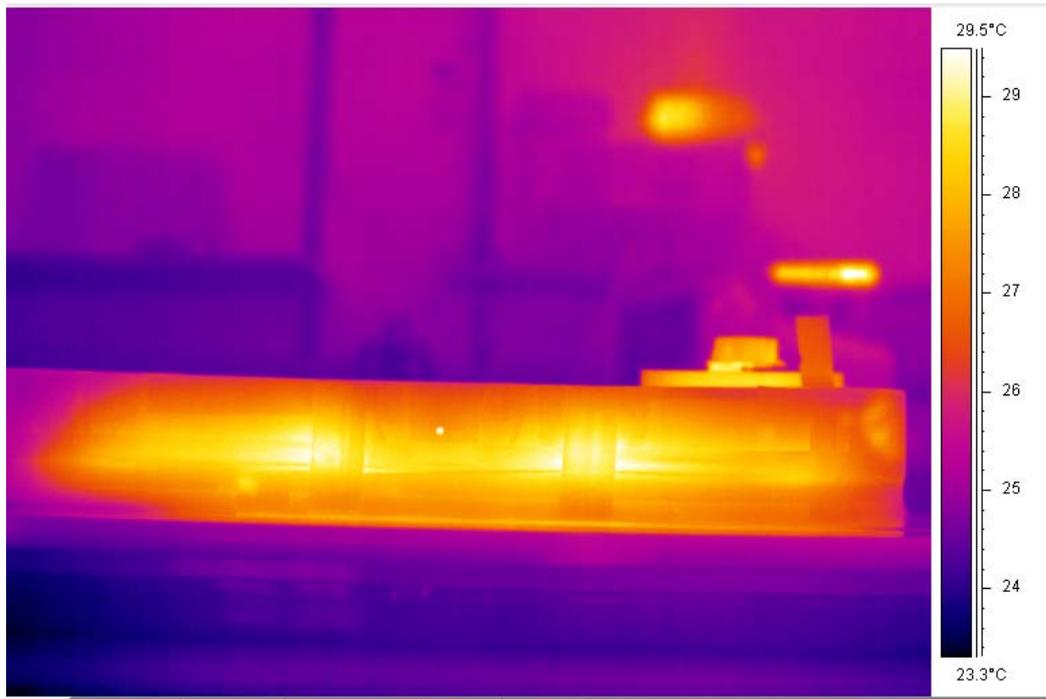
Para la medida de las temperaturas superficiales se utilizan sus correspondientes imágenes infrarrojas, en este caso por ejemplo de la cara trasera, opuesta a la mostrada inicialmente:



O una de las laterales:



O la de la cara de arriba del prisma:



El proceso se realiza para las seis caras que componen el prisma ensamblaje.

A partir de las temperaturas superficiales y de las temperaturas del aire y temperatura aparente reflejada, así como del correspondiente coeficiente de convección previamente calculado, se calculan las pérdidas de calor de cada una de las caras que son:

Q cara principal donde están encajadas las piezas: 17,2 W

Q cara trasera: 12,7 W

Q cara arriba: 3,4 W

Q cara abajo: 2,1 W

Q laterales: 0,9 W

Lo que hace un total de pérdidas de 36,2 W.

La potencia eléctrica suministrada a la resistencia, de 40,3 ohmios es, a partir del voltaje introducido de 40 V, igual a 39,6 W. Esto supone una diferencia en la potencia calculada de un 8 % inferior, totalmente admisible, puesto que las medidas de temperaturas superficiales se han realizado a partir de valores promedio.

## 5. FUNCIONALIDAD DE LAS TERMAS

### 5.1 ANÁLISIS INFORMÁTICO DEL MODELO TÉRMICO

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 presente investigación ha sido ejecutado en los dos programas siguientes:

- Fire Dynamics Simulator – FDS 5.0 <sup>226</sup>
- 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<sup>227</sup>. 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.

---

<sup>226</sup> Se ha utilizado la versión 5.0 —aunque ya existe la versión 6.0— debido a que todo el proceso de cálculo se inició con dicha versión. Además, las mejoras introducidas permiten calcular aspectos que no son de utilidad en esta investigación (temperaturas más altas y velocidades más rápidas) ya que provocarían una ralentización en el cálculo en las diferentes hipótesis.

<sup>227</sup> Las ecuaciones en las que se basa el cálculo en estos programas se asientan principalmente en las teorías desarrolladas por Navier y Stokes debido a que se enfocan al cálculo de situaciones del flujo térmico de baja velocidad, como pueden ser las situaciones de movimientos de aire caliente, humos y, por consiguiente, todos los flujos creados por efectos térmicos.

Otra parte muy importante del programa es el modelo utilizado para tratar las turbulencias que se encuentran en la zona de pirólisis al límite entre la llama y el aire. En el FDS, las turbulencias son tratadas por el modelo de Large Eddy Simulación (LES) mostrando los patrones que cambian continuamente y de manera no estacionaria y prediciendo el movimiento vertical provocado por la convección y conducción en las cavidades (Esteban *et al.* 2010, 5538)<sup>228</sup>.

Para los elementos sólidos, cuyas propiedades térmicas se han introducido según la naturaleza del cuerpo, el programa calcula y obtiene para cada intervalo de tiempo los siguientes resultados:

- Temperatura en los límites de la celda
- Flujo de calor por convección y por radiación
- 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)
- La dirección y velocidad que alcanza por convección el gas

Para todo el sistema modelizado también puede indicarse que se obtienen los valores siguientes:

- HRR (*heat release rate*) del conjunto
- Los comportamientos de los sensores, tanto de temperatura como de viento, según la evolución en el tiempo
- 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. 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

---

<sup>228</sup> E. ESTEBAN, A. ARAMAYO y L. CARDÓN (2010). "Implementación de modelos de turbulencia tipo LES (large eddy simulation) a una cavidad calentada por debajo", en Eduardo Dvorkin, Marcela Goldschmit y Mario Storti (eds.): *Mecánica Computacional*, vol. XXIX, págs. 5537-5549. Santa Fe: AMCA.

no depende tanto del tamaño de la celda sino de la geometría del modelo (Dufour 2006, 46)<sup>229</sup>.

El cálculo genera muchos archivos paramétricos, cuyo tamaño depende del intervalo de tiempo considerado y de la cantidad y tamaño de las celdas. Para facilitar el procesado de todos los datos y ver el comportamiento final de una forma mucho más clara, se utiliza el programa denominado Smokeview (SMV). Este programa permite la visualización en tres dimensiones de los datos obtenidos en el cálculo pudiendo editar toda la información y generar planos de las lecturas de los puntos en los que se le ha pedido la información y su evolución durante todo el proceso. Es decir, visualizar los planos de vectores donde se indique la dirección y velocidad del aire caliente, lecturas puntuales de temperatura en puntos singulares de las superficies, lecturas de la temperatura del fluido en cualquier punto del modelo, etc.

Ambos programas han sido desarrollados por el Building and Fire Research Laboratory del NIST (National Institute of Standards and Technology) en colaboración con el VTT Building and Transport, de Finlandia<sup>230</sup> y son de acceso abierto y gratuito.

Sus principales características que podemos destacar y que nos afectan a nuestra investigación son las siguientes:

- Posibilidad de diseño de geometrías complejas, perfectamente adaptables a edificaciones singulares.
- Posibilidad de personalizar las características de los elementos inertes o de compartimentación y de los combustibles tanto líquidos como sólidos.
- Tratamiento de los fenómenos de turbulencia mediante distintos modelos empíricos o de grandes remolinos.
- Posibilidad de archivar todos los valores utilizados a lo largo de la simulación, lo cual da una gran capacidad de análisis y representación del encendido.

La solvencia y validez del FDS del NIST pueden ser justificadas tanto por el propio órgano encargado de su desarrollo, como a partir de experiencias que puedan validar el método utilizado. En este sentido, existe una amplia bibliografía de entidades

---

<sup>229</sup> A. DUFOUR (2006). *Simulación mediante la mecánica computacional de fluidos de escenarios de incendios reales en recintos industriales*. Proyecto final de carrera inédito. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Barcelona. UPC.

<sup>230</sup> <https://pages.nist.gov/fds-smv/>. Desde esta página web se puede acceder a la información técnica de los programas y a la descarga gratuita de ambos. Primera consulta 04/2014.

internacionales de reconocido prestigio que han verificado y validado la aplicación de este tipo de sistemas a la simulación de incendios en edificios<sup>231</sup>.

Ambos programas, que son de licencia abierta, se encuentran instalados en el centro de cálculo de la UPV. Mediante un permiso especial se pudo tener acceso para poder realizar la reiterada dinámica del procesado de datos y de los cálculos obtenidos, que hubiera sido prácticamente imposible realizar en un ordenador personal. El tiempo medio del procesado de cálculo de que se dispuso viene limitado por el tiempo que el centro de cálculo fija para cada investigador. En este caso se dispuso de 144 horas de ejecución del programa ininterrumpidas, en las que se utilizaban los 16 procesadores interconectados en paralelo para tener una mayor respuesta en el cálculo final. Es decir, para cada hipótesis de cálculo planteada, el sistema tardaba seis días en procesar el cálculo, y se obtenían los resultados que posteriormente tenían que analizarse y procesarse para saber la repercusión de la hipótesis planteada.

Estos programas se eligieron para la presente simulación por la efectividad que genera la consideración de la geometría ortogonal y por la gestión de las ecuaciones que realiza de una forma simplificada, permitiendo tiempos de procesado menores en comparación con otros programas. La utilización de otros programas basados también en el cálculo de elementos finitos, hubiera significado un tiempo mayor de cálculo, aproximadamente unas diez veces más, al considerar el volumen complejo del edificio estudiado y las múltiples hipótesis que se pretendía realizar (Dufour 2006, 80).

No obstante, las publicaciones y comunicaciones consultadas utilizan programas como ANSYS FLUENT, basado también en la dinámica de fluidos computacional (CFD) y con cálculos con mayor precisión pero mucho más lentos en el procesado de los datos y en el tratamiento de los análisis finales con geometrías más complejas, como es el caso de esta investigación (Galiano *et al.* 2017, 709)<sup>232</sup>.

---

<sup>231</sup> En la página web de los programas <https://pages.nist.gov/fds-smv/> se puede acceder a las guías de verificación y validación en las que se incluyen las instituciones, organismos y ensayos realizados para confirmar la viabilidad y utilidad de los programas para distintos escenarios planteados.

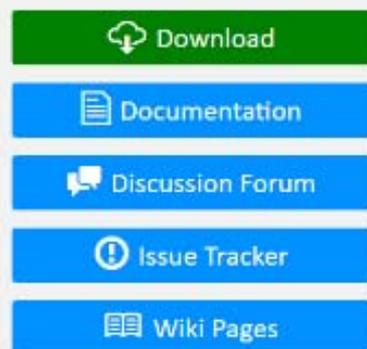
<sup>232</sup> A. GAGLIANO, M. LIUZZO, G. MARGANI y W. PETTINATO (2017). "Thermo-hygrometric behaviour of Roman thermal buildings: the Indirizzo Baths of Catania (Sicily)", *Energy and Buildings*, 138, pp. 704-715

# FDS-SMV

Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV)

**Fire Dynamics Simulator (FDS)** is a large-eddy simulation (LES) code for low-speed flows, with an emphasis on smoke and heat transport from fires.

**Smokeview (SMV)** is a visualization program used to display the output of FDS and **CFAST** simulations.



*Smokeview image:  
University of Maryland Line Burner*

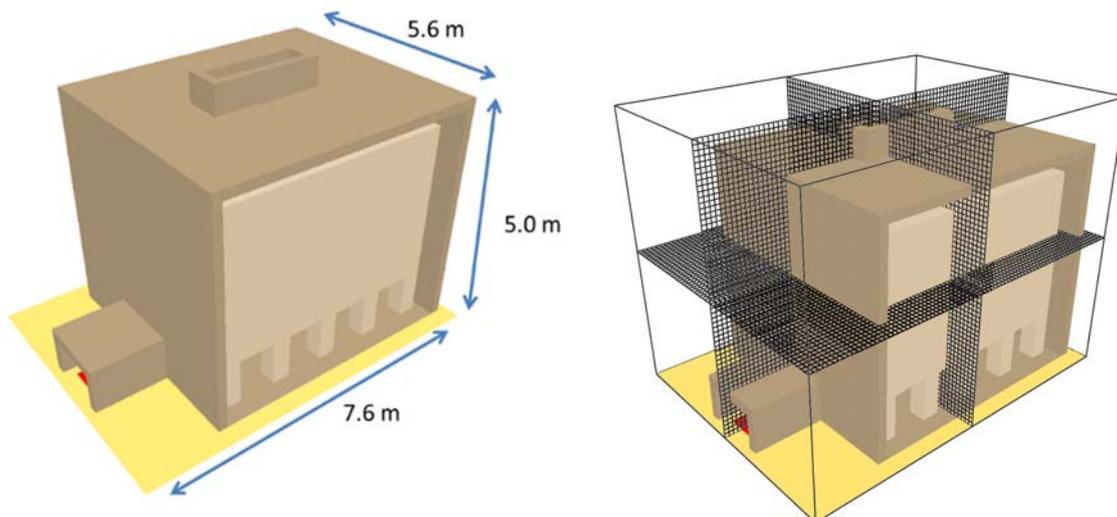
Ilustración 279. Captura de pantalla de la web <https://pages.nist.gov/fds-smv/> que distribuye el programa FDS y SMV.

## 5.2 MODELO TRIDIMENSIONAL ADOPTADO

Antes de iniciar la simulación informática, se planteó la necesidad de introducir el modelo arquitectónico con la mayor precisión posible para saber el correcto funcionamiento del mismo con la realidad arquitectónica que se tenía con certeza. El programa trabaja con volúmenes generados mediante una malla tridimensional que permite introducirlos independientemente adaptándose con un mayor rigor a la realidad espacial del modelo arquitectónico. Para ello, se plantearon varias opciones de definición de la malla tridimensional que se pudieran ajustar a la dimensión de cada uno de los sistemas constructivos y materiales que forman todo el edificio. Después de probar diferentes tamaños de celda, se optó por generar un modelo cúbico con unas dimensiones de  $20 \times 20 \times 20$  cm. Estas dimensiones se aproximan con una mayor precisión al módulo romano generado por la mano (*besalis*) del cual salen muchas proporciones que son múltiplos o submúltiplos de aquella.

### 5.2.1 Modelo previo

Para una primera aproximación y comprobación de la utilidad de los programas informáticos para la resolución de las hipótesis planteadas y de los resultados que se pretendía alcanzar, se diseñó un primer modelo con unas características muy simples, aunque mantenían en esencia la dimensión de los espacios singulares y los materiales empleados en las termas. El modelo previo estaba formado por celdas de  $10 \times 10 \times 10$  cm que generaban dos prismas rectangulares de dimensiones máximas de  $8,0 \times 6,0 \times 6,0$  m.; uno insertado dentro del otro, separados 20 cm, de forma que creaba una cámara hueca entre los dos. El volumen total de las celdas generadas ascendió a 288.000. En la base del prisma interior se generó una retícula de 20 pequeños pilares de  $40 \times 40$  cm separados un metro entre sí y también del suelo, para permitir el paso del aire entre ellos y generar una cámara como si se tratase de un *hypocaustum*. En el extremo inferior de una de las paredes se situó la fuente calorífica mediante la abertura de un espacio que coincidía con la altura y separación de los pilares de la base. En la cara opuesta a esta, y en el prisma exterior, se dispuso una abertura a media altura cerrada, a modo de ventana y formada con un material transparente, para poder comprobar la afección que este tipo de aberturas cerradas podían generar en la ventilación y evacuación de los gases calientes. En la parte opuesta al suelo y que podríamos identificar con la cubierta del prisma exterior, se dispuso una abertura central longitudinal que permitiese la evacuación de los gases generados durante la combustión de la fuente calorífica y que circulaban en la cámara hueca generada entre los dos prismas.



Ilustraciones 280 y 281. Esquema de la geometría del modelo previo con las celdas generadas en los distintos planos.

Una vez introducido el modelo arquitectónico se identificaron los materiales de los cuales estaban formadas cada una de las celdas de material sólido indicando su conductividad, el calor específico y la densidad. Los valores utilizados fueron los siguientes:

	Conductividad W/(m K)	Calor específico J/(kg K)	Densidad kg/m <sup>3</sup>
Aire	0,026	1000	1,2
Ladrillo	0,8	840	1800

Tabla 12. Valores de conductividad, calor específico y densidad de los materiales utilizados. Fuente: Código Técnico de la Edificación

Posteriormente se definieron las condiciones de contorno (humedad relativa, temperatura ambiente, presión atmosférica y velocidad del viento). El punto de calor se introdujo mediante una superficie de  $1,0 \times 0,8$  m, definiendo una potencia de calor de  $800 \text{ kW/m}^2$  con lo que se conseguía una potencia simulada de  $640 \text{ kW}$ . El valor máximo del encendido (HRR<sup>233</sup> instantáneo) se alcanzaba a los 100 segundos y a partir de ese momento se mantenía constante.

<sup>233</sup> Heat release rate = potencia de emisión de calor.

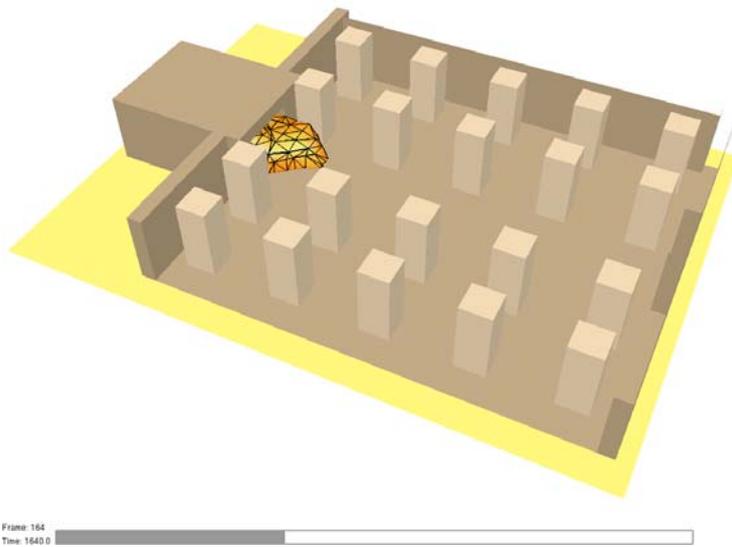


Ilustración 282. Esquema del modelo previo seccionado a nivel del *hypocaustum* para identificar el punto de calor introducido.

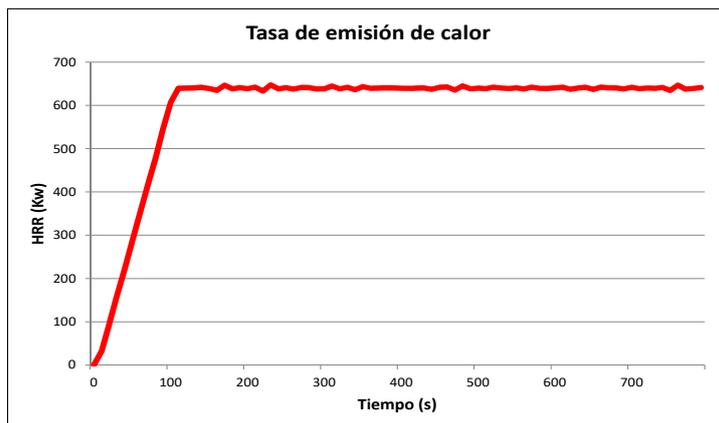


Tabla 13. Tabla de la HRR en función del tiempo.

Una vez definida la geometría, insertadas las propiedades de los materiales, las condiciones del contorno y las características y ubicación de la fuente de calor, se procedió a ejecutar el programa FDS.

Tras los cálculos realizados con una secuencia de 1000 segundos, se pudo constatar que, tras varios minutos de encendido del horno, el aire entra por el orificio donde se ha colocado la fuente calorífica debido a los fenómenos de convección, calentándose y distribuyendo todo el calor que va alcanzando hacia el interior del *hypocaustum*. El aire caliente va circulando y ascendiendo por la cámara hueca hasta la abertura del prisma exterior donde sale del edificio. Durante este trayecto el calor que lleva el aire ha ido transfiriéndose uniformemente por los espacios por donde circula hasta que sale por la

abertura existente en la zona superior. Este trayecto se realiza basándose en la segunda ley de la termodinámica que establece la dirección del flujo de calor en una dirección, generando el movimiento del fluido del cuerpo más caliente al más frío hasta llegar al equilibrio, debido a la menor densidad del aire caliente que induce un movimiento ascendente o contragravitacional.

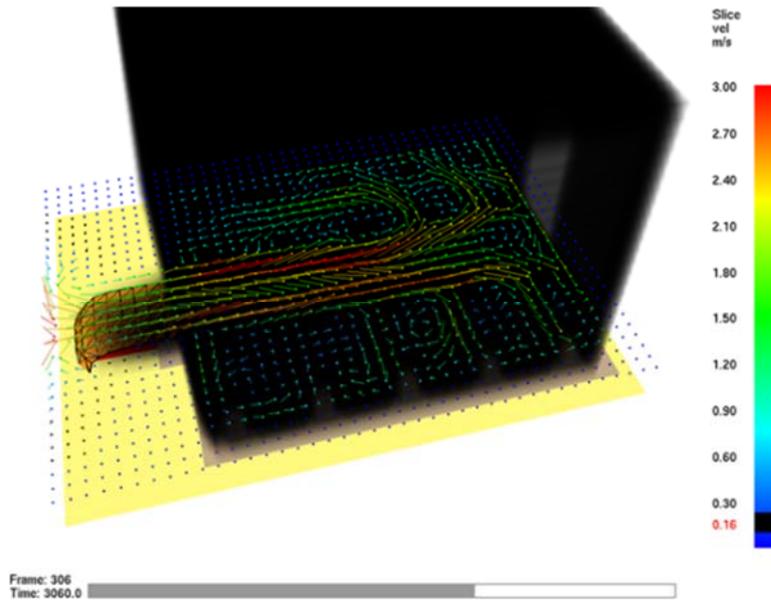


Ilustración 283. Esquema de velocidad y sentido de circulación del aire debido a los fenómenos de convección.

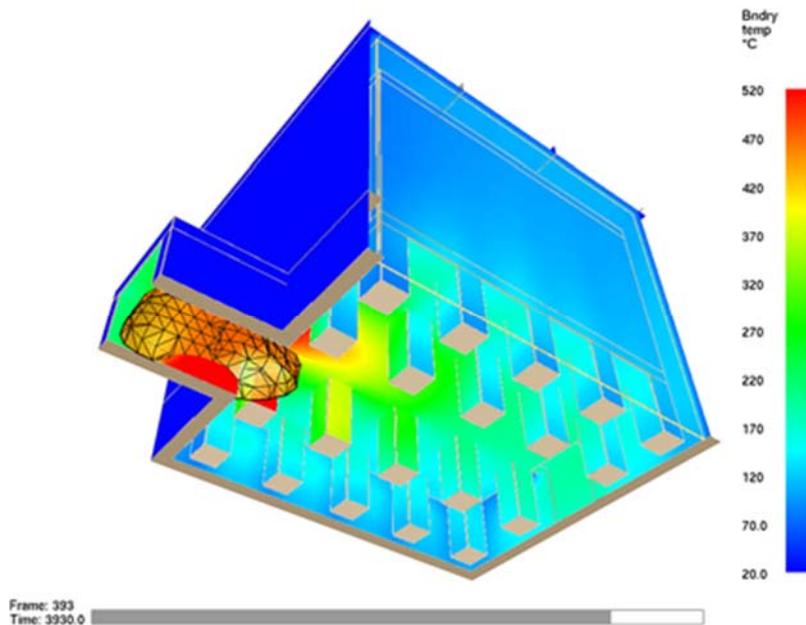


Ilustración 284. Imagen de la distribución del calor desde la fuente calorífica por el interior del modelo.

Para poder interpretar las distintas situaciones se generaron diferentes planos de sección del edificio donde poder comprobar y obtener los resultados de las temperaturas y velocidades del flujo (dirección e intensidad) que tienen la circulación de humos y gases calientes por el interior de los dos prismas.

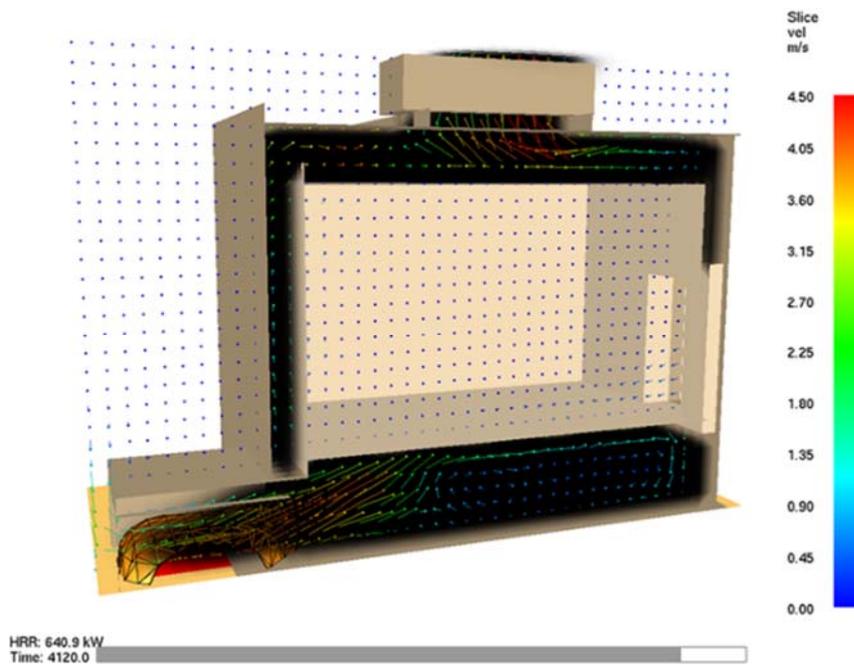


Ilustración 285. Sección del modelo para identificar las velocidades y sentido del flujo del aire caliente.

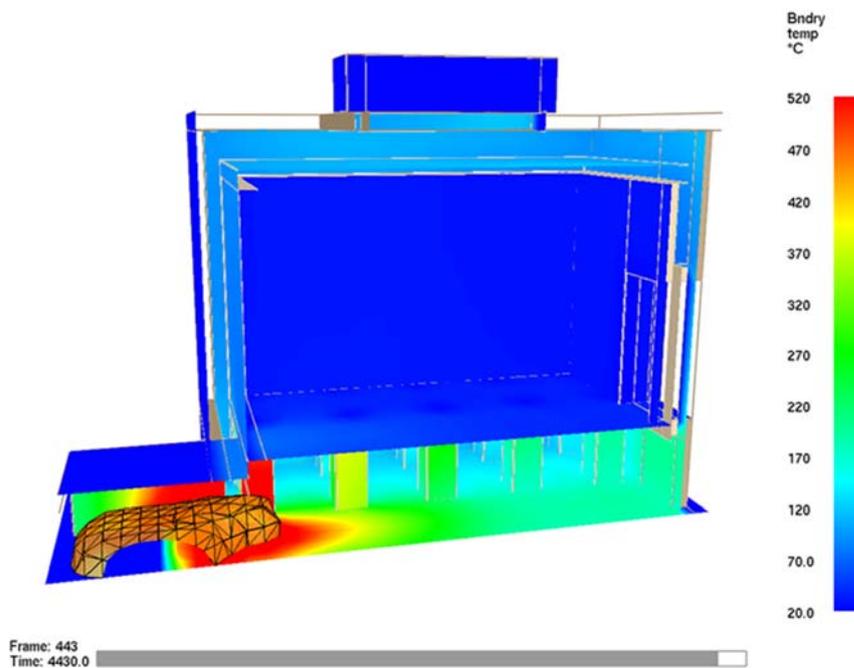


Ilustración 286. Sección del modelo para identificar las distintas temperaturas.

También se pudo comprobar y obtener las temperaturas superficiales de cada plano y sección determinándose la utilidad del programa y la efectividad del mismo para evidenciar la uniformidad de la distribución de los flujos de aire caliente por todas las zonas interiores del edificio.

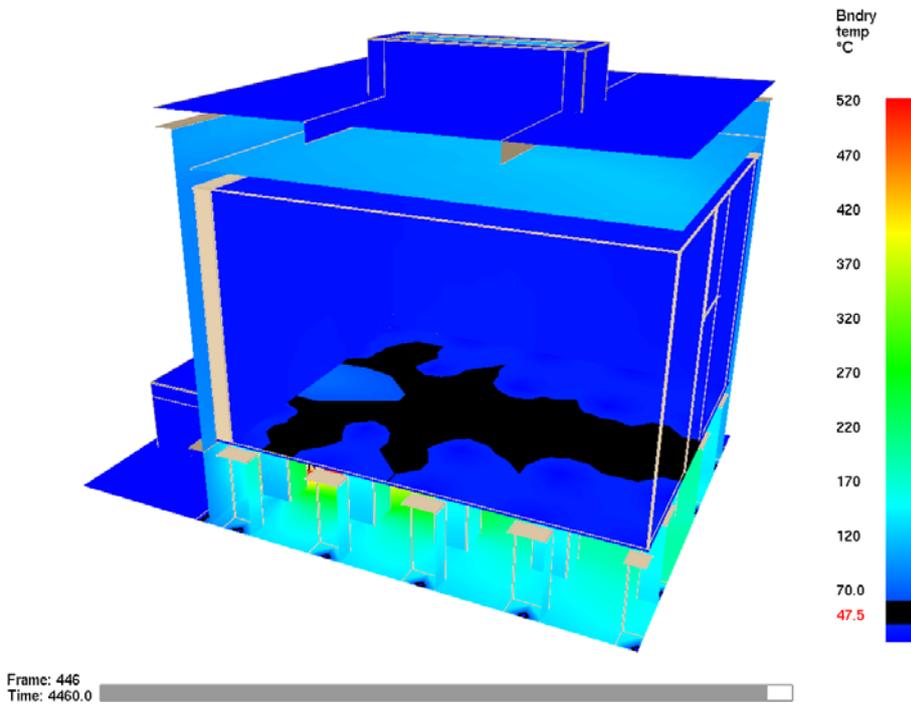


Ilustración 287. Identificación mediante isotermas de las zonas con idénticas temperaturas.

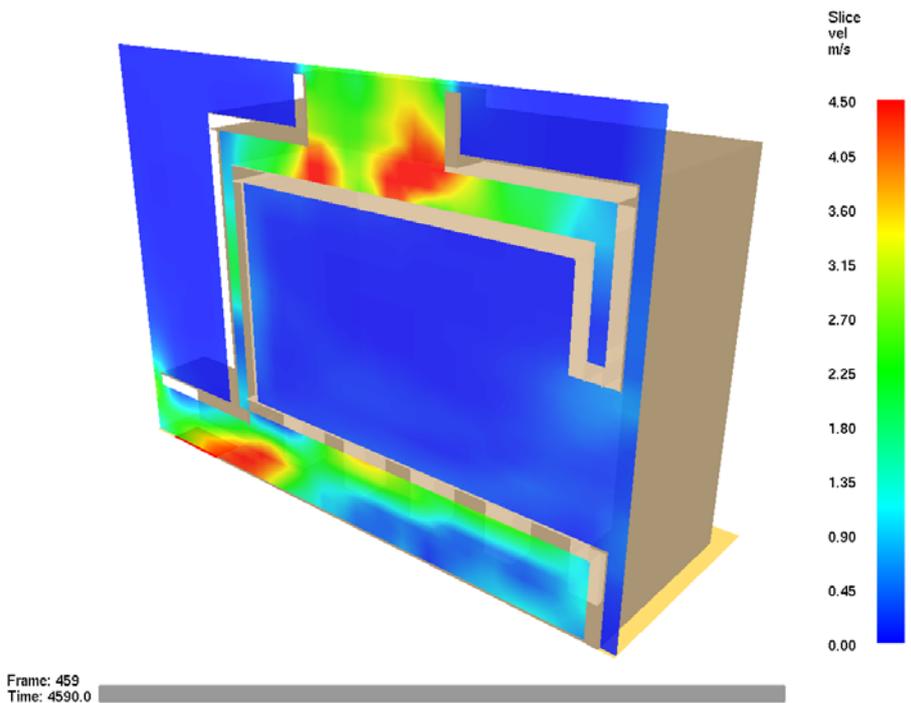


Ilustración 288. Sección del modelo para identificar las temperaturas.

Como conclusión general a este estudio previo se pudo constatar que los programas utilizados eran válidos para obtener el funcionamiento correcto del sistema al paso de un fluido calefactado, obteniendo la evolución de las temperaturas tanto en los volúmenes interiores como en las superficies de las salas y las velocidades y direcciones de los flujos durante un periodo acotado de tiempo.

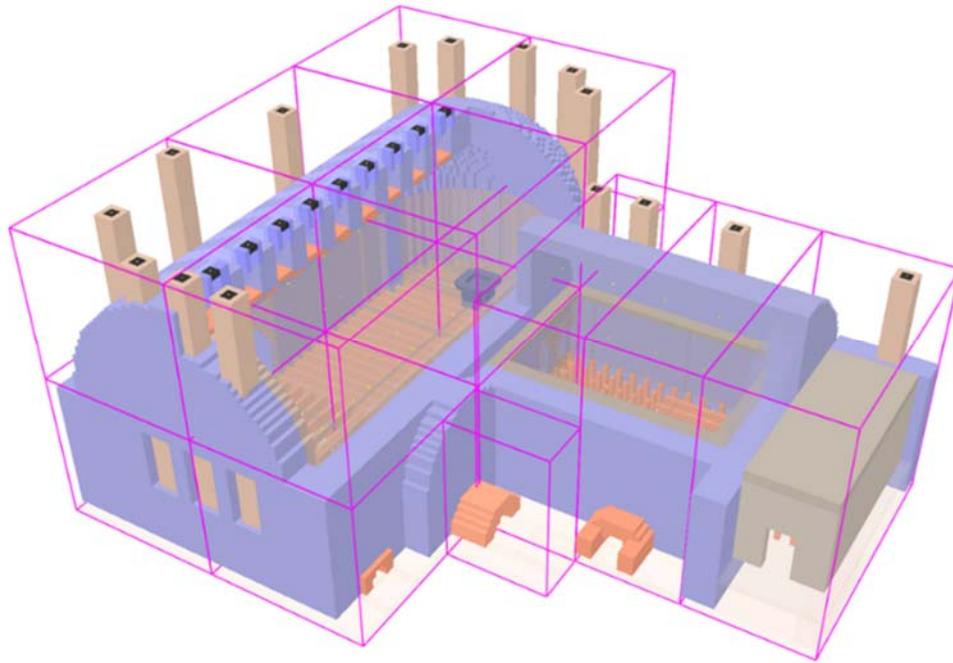
### 5.2.2 Modelo final

Después de la primera prueba y ensayo con un modelo genérico y simple para empezar a manejar los programas informáticos y comprobar su viabilidad funcional, se adaptó un modelo mucho más complejo, intentando reproducir al máximo la fidelidad del modelo arquitectónico de las termas, hipótesis generada por la Dirección Facultativa de las obras de intervención en el conjunto durante los años 2010-2012<sup>234</sup>. El proceso fue bastante lento hasta que se consiguió la geometría más fiel al paso del aire por dentro del complejo termal, de forma que se tanteaba, comprobaba, se medía y se discutía la funcionalidad de cada hueco, de cada conducto y de cada separación de los distintos sistemas constructivos.

Así como el modelo previo se calculó como una malla formada por todas las celdas en conjunto; para el modelo final, el edificio se dividió en 16 mallas (una para cada procesador del que disponíamos en el centro de cálculo) con una dimensión de 37.095 celdas en cada malla. El modelo final, con las 16 mallas, estaba compuesto por un total de 593.520 celdas. La dimensión de la celda se consideró de 20 × 20 × 20 cm, ya que se adaptaba con bastante fidelidad a los elementos constructivos y al espacio de circulación del aire.

---

<sup>234</sup> Esquema idealizado del modelo arquitectónico ya explicado anteriormente en el capítulo 2.



mesh 1

Ilustración 289. Esquema del modelo adoptado y la subdivisión realizada en 16 bloques o mallas.

El haber dimensionado la celda con un tamaño menor, por ejemplo  $10 \times 10 \times 10$  cm, para conseguir una mayor precisión, hubiera significado aumentar por 8 el número de celdas y haber realizado inviable el cálculo de muchas horas del funcionamiento de la instalación. De todas formas, hay que decir que las diferencias entre el tamaño de celdas, al efecto de la funcionalidad que se buscaba comprobar en el edificio, no hubiera sido significativo, tal y como demostró el primer modelo generado, dando resultados muy próximos<sup>235</sup>.

Para identificar claramente cada uno de los hornos y de las salidas del aire caliente se denominó a cada zona estudiada de la siguiente forma:

---

<sup>235</sup> En la simulación Edeta02 se pudo comprobar únicamente con el edificio del *caldarium* que la diferencia de considerar la celda en un tamaño menor no era significativa respecto a los valores generales globales que afectan al funcionamiento del complejo.

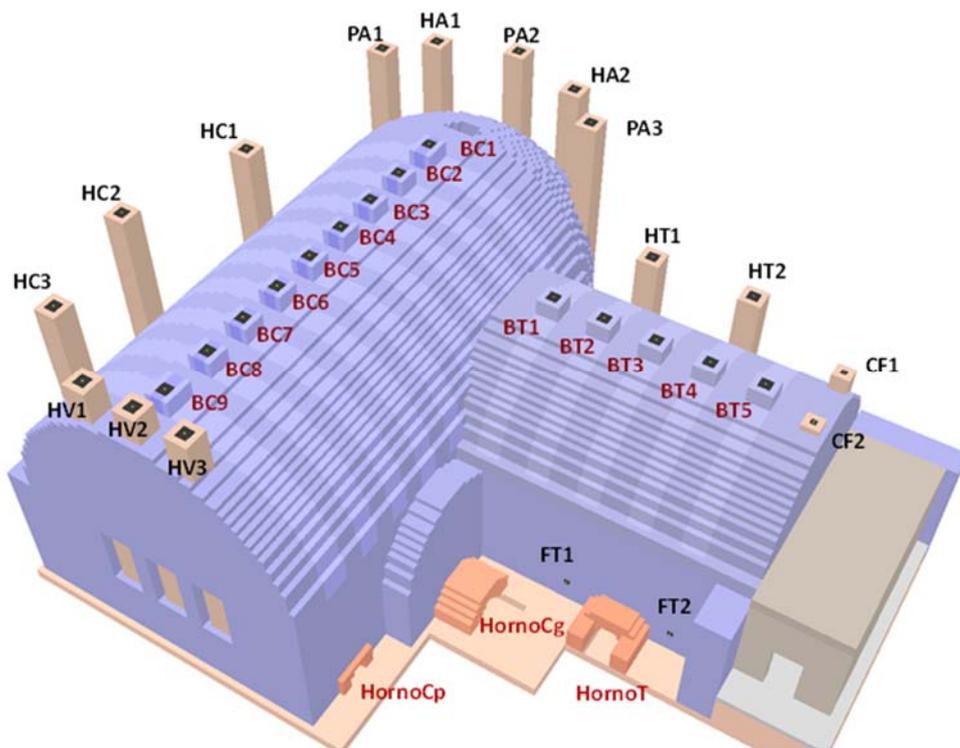


Ilustración 290. Identificación de la nomenclatura realizada en el modelo.

De forma que los hornos se identificaban como

- Horno Cp (*caldarium* pequeño), el situado en el extremo del *caldarium*, debajo del *testudo*.
- Horno Cg (*caldarium* grande), el situado en la zona intermedia del *caldarium*.
- Horno T, el situado en la zona del *tepidarium*.

Las salidas de los gases se identificaron de forma que el primer dígito interpretaba la procedencia del aire caliente, y el segundo indicaba la zona de la sala de la que procedía el aire, numerándose según el sentido de evacuación dentro de la sala, de forma que tendríamos:

Primer dígito:

- H, si procedía directamente del espacio del *hypocaustum*.
- P, si procedía directamente del espacio de la *concameratio*.
- B, si procedía del espacio de la bóveda.

### Segundo dígito:

- C, si procedía del *caldarium*.
- T, si procedía del *tepidarium*.
- F, si procedía del *frigidarium*<sup>236</sup>.

Dentro de este diseño inicial se tuvieron en cuenta los aspectos que afectaban al concepto más funcional en el edificio y que sin lugar a dudas se concentraban en el punto de combustión a la entrada de los hornos. La forma descrita, tanto en el proyecto como en la documentación consultada, nos identificaba una forma de entrada del aire abocinada, es decir, más cerrada en la boca exterior y más abierta hacia el interior del *caldarium*, de forma que ayudaba a generar una única dirección de flujo por la reducida dimensión creada. Al disponer de un espacio tan alargado y de pequeña altura se consigue una mezcla más rápida y efectiva del aire con el gas de la combustión de la madera de forma que aumentaba el rendimiento de la combustión hasta un 80-90 % produciendo menos humo, menos partículas sólidas y mucha más energía calorífica. La bóveda del horno, a su vez, genera un factor de radiación que optimiza el rendimiento del combustible (lo que se denomina “cámara de combustión” en mecánica).

El aire, al circular de una forma más rápida, impide que los gases que se introducen en el interior del *hypocaustum* se encuentren a una temperatura que pueda provocar un deterioro de los materiales con el paso del tiempo. Además, esta rapidez de entrada de aire hace que las llamas se inclinen y no generen un contacto con el ladrillo que forma la bóveda del horno, evitando así el deterioro por impacto directo del fuego.

De todas formas, es de suponer que esta cámara, debería de ir reparándose por mantenimiento cada cierto tiempo, debido a la temperatura extrema que en los momentos de encendido se podían producir.

El resto de las estructuras interiores, por el contrario, se mantenían inalterables debido a esta acción del fuego, ya que el rango de las temperaturas que se producían en estos puntos interiores no influía negativamente en la conservación de las mismas. Una de las particularidades que tenía este espacio es la forma cónica hacia el interior, de forma que en la boca del horno la abertura es la parte más estrecha que se va ampliando conforme se introduce el aire en interior del *hypocaustum*.

---

<sup>236</sup> Se ha adoptado la nomenclatura del *frigidarium* en la primera sala termal, tal y como se ha definido en el capítulo 2, aunque en esta sala se adopten otros nombres.



Ilustración 291. Entrada del horno del *tepidarium* en la que se puede ver las distintas hiladas de ladrillos que generaban el túnel de entrada de aire y la bóveda de piedra aquellos.

El *hypocaustum* se generó de forma que los arcos de ladrillo que soportan el pavimento y las aberturas de ventilación horizontales entre salas y verticales fueran lo más parecido a la realidad. En realidad, esta fue la zona más compleja para reproducir su geometría debido a las formas circulares y a los distintos espacios y conductos necesarios para una correcta circulación del aire por su interior.

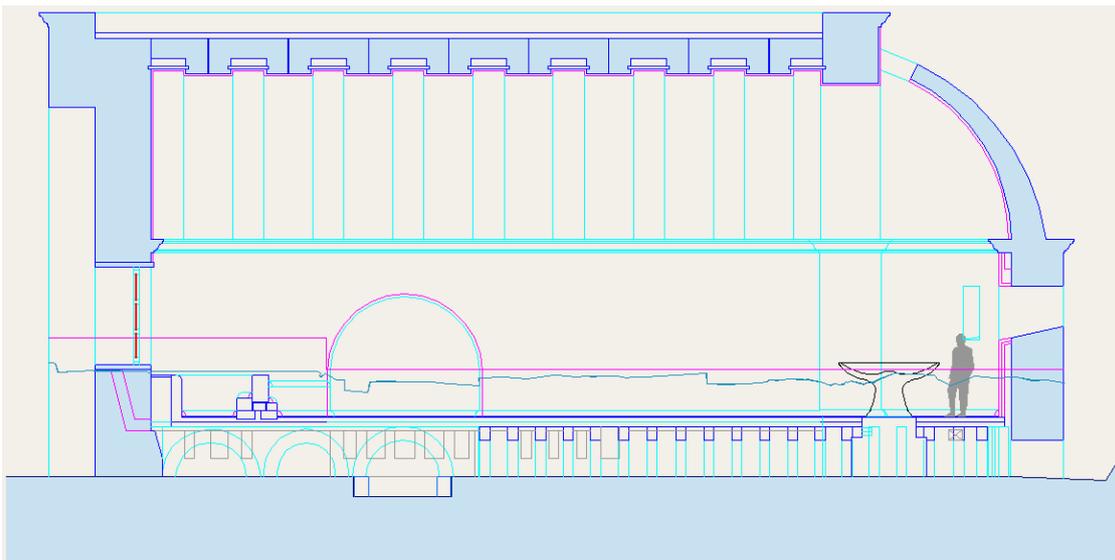


Ilustración 292. Sección longitudinal correspondiente a la hipótesis constructiva realizada por el equipo dirigido por Julián Esteban.

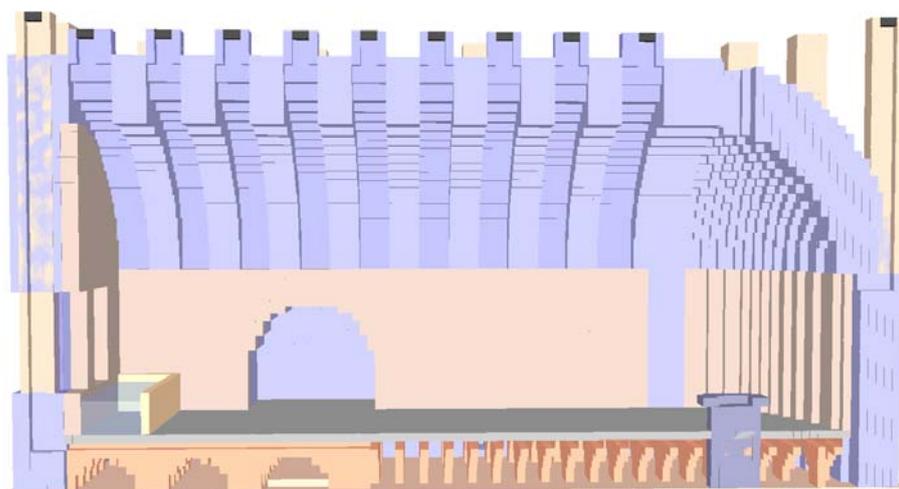
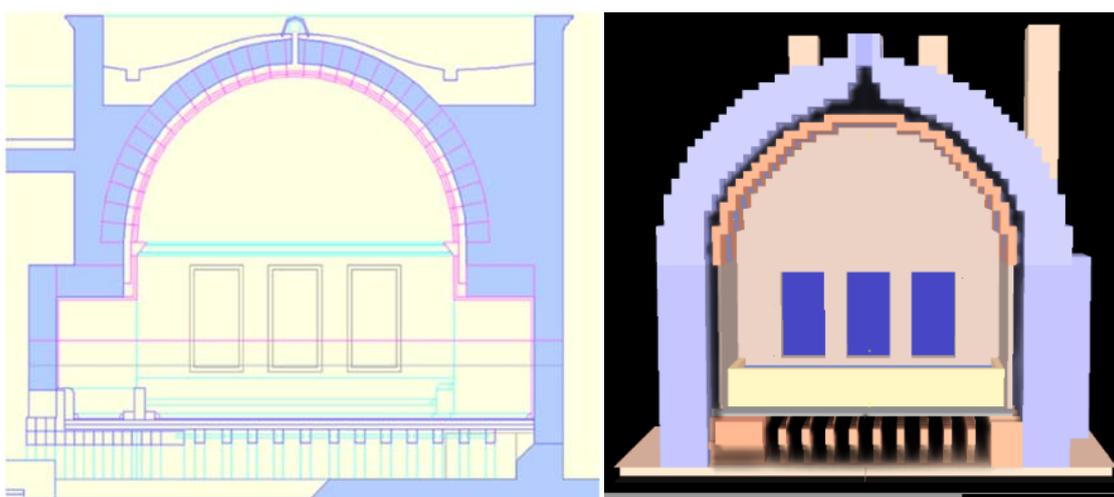


Ilustración 293. Sección longitudinal del modelo arquitectónico realizado a partir de la hipótesis arquitectónica.

Otro concepto tenido en cuenta en el diseño y en el cálculo de la simulación radica en el hecho de trabajar con celdas tridimensionales que genera en las zonas curvas de la bóveda un efecto de escalonamiento que se podría entender como un obstáculo en la circulación del aire caliente. Este efecto, que no obedece a la realidad, se pudo corregir gracias a la función de suavizado de dichas esquinas mediante una orden denominada *sawtooth*. De esta manera, el programa entiende que el aire debe de circular de esquina a esquina sin detenerse y sin interpretar que se trata de obstáculos que puedan generar turbulencias y perder la energía calorífica que nos daría un resultado poco eficiente y distante de la realidad.



Ilustraciones 294 y 295. Sección transversal según las hipótesis constructivas realizadas por el equipo dirigido por Julián Esteban y el modelo arquitectónico modelizado.

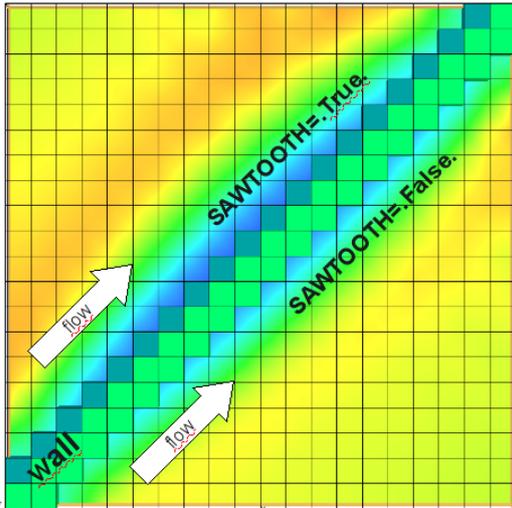


Ilustración 296. Detalle del suavizado que realiza el programa con el escalonamiento de las celdas. Autor: Emanuele Gissi –“An introduction to fire simulation with FDS and smokeview”, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46079408>. (Consulta 04/2017).

La solución de cubierta planteada en el modelo arquitectónico no se consideró a la hora de repercutir en el comportamiento térmico del aire que circula por el interior del edificio. Es de suponer que el valor másico de rellenar los senos de la bóveda, podría ampliar los efectos de acumulación de calor, que luego repercutiera en su inercia térmica, pero debido al gran espesor de la última capa de piedra que conforma la bóveda se desestimó este valor para determinar la temperatura que influye en el interior de la cámara por la que circula el aire.

El hueco de ventilación generado en las paredes (*concameratio*) se tuvo que dimensionar con el valor mínimo de la celda, es decir, 20 cm de espesor, aunque en la realidad es de aproximadamente 16 cm. Aun así, el modelo se considera válido ya que la comprobación realizada en la segunda hipótesis de cálculo (Edeta02) que se dimensionó con celdas de  $10 \times 10 \times 10$  pudo demostrar que el comportamiento no varía sustancialmente y que, por tanto, el dimensionar este espacio con un mayor tamaño no había influido de gran manera en la convección que se generaba en dicho espacio, ya que su función, tan solo implica una salida directa del aire caliente y no una calefacción de la pared tal y como explicó F. Kretzschmer en el experimento de Saalburg en 1951<sup>237</sup>. Tampoco se tuvieron en cuenta las piezas de agarre que forman el sistema de la *concameratio* ya que al tener una forma redonda y situarse todas en la misma alineación, creaban un espacio de pequeñas chimeneas intercomunicadas, facilitando el ascenso del aire caliente sin generar prácticamente obstáculo a su paso.

<sup>237</sup> Explicado en el capítulo 4 de la presente tesis.

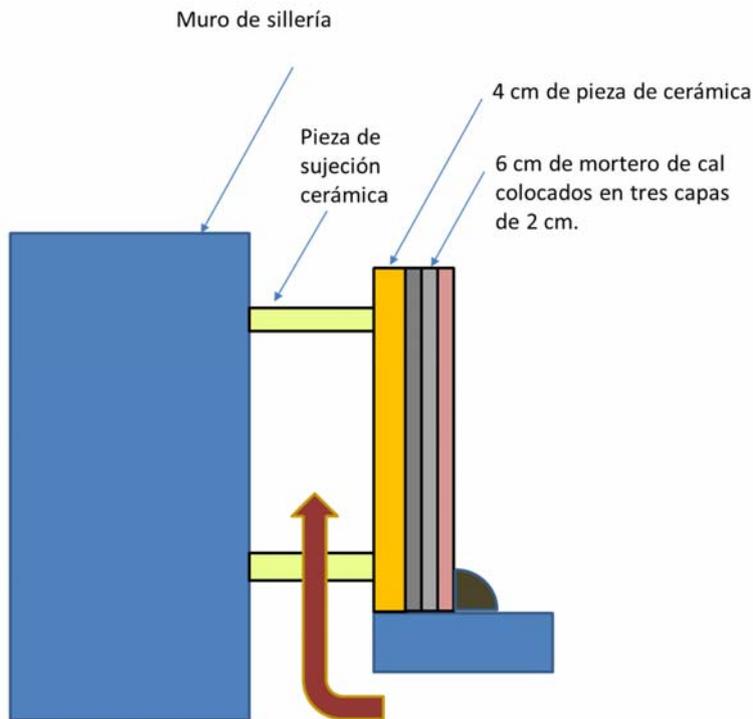


Ilustración 297. Detalle esquemático de la *concaemeratio* por donde asciende el aire caliente.

La definición de los huecos de salida del aire caliente se dimensionó pensando en la necesidad de evacuación de la forma más efectiva. Es por esa razón que el modelo de cálculo inicial presenta una serie de chimeneas que comunican con los orificios del *hypocaustum* y aunque son difíciles de asumir desde un punto de vista arquitectónico, son necesarios desde un punto de vista térmico para que el funcionamiento de las termas pueda ser funcional. El diseño de finalización de estos conductos, ya sea en la cubierta o en el muro perimetral, debía llevar un mecanismo de apertura y cierre como demostraremos en las distintas hipótesis. Es por ello que, en muchas ocasiones y siguiendo la forma de actuar y concebir la funcionalidad en el mundo romano, es muy probable que estas chimeneas pudieran sobresalir por encima del nivel de cubierta o por las paredes en el tramo antes de la cubierta, tal y como explicaremos en las distintas hipótesis. Por otra parte los conductos que discurren por el interior de la bóveda presentan su hipótesis exactamente igual que la diseñada en el modelo arquitectónico y cuya existencia ha estado contrastada por varios documentos consultados (Bouet 2007, 30)<sup>238</sup>.

<sup>238</sup> A. BOUET (2007). "Les thermes de Barzan (Charente-Maritime)", *Dossiers d'archéologie*, 323, pp. 30-35. (Les thermes en Gaule Romaine).

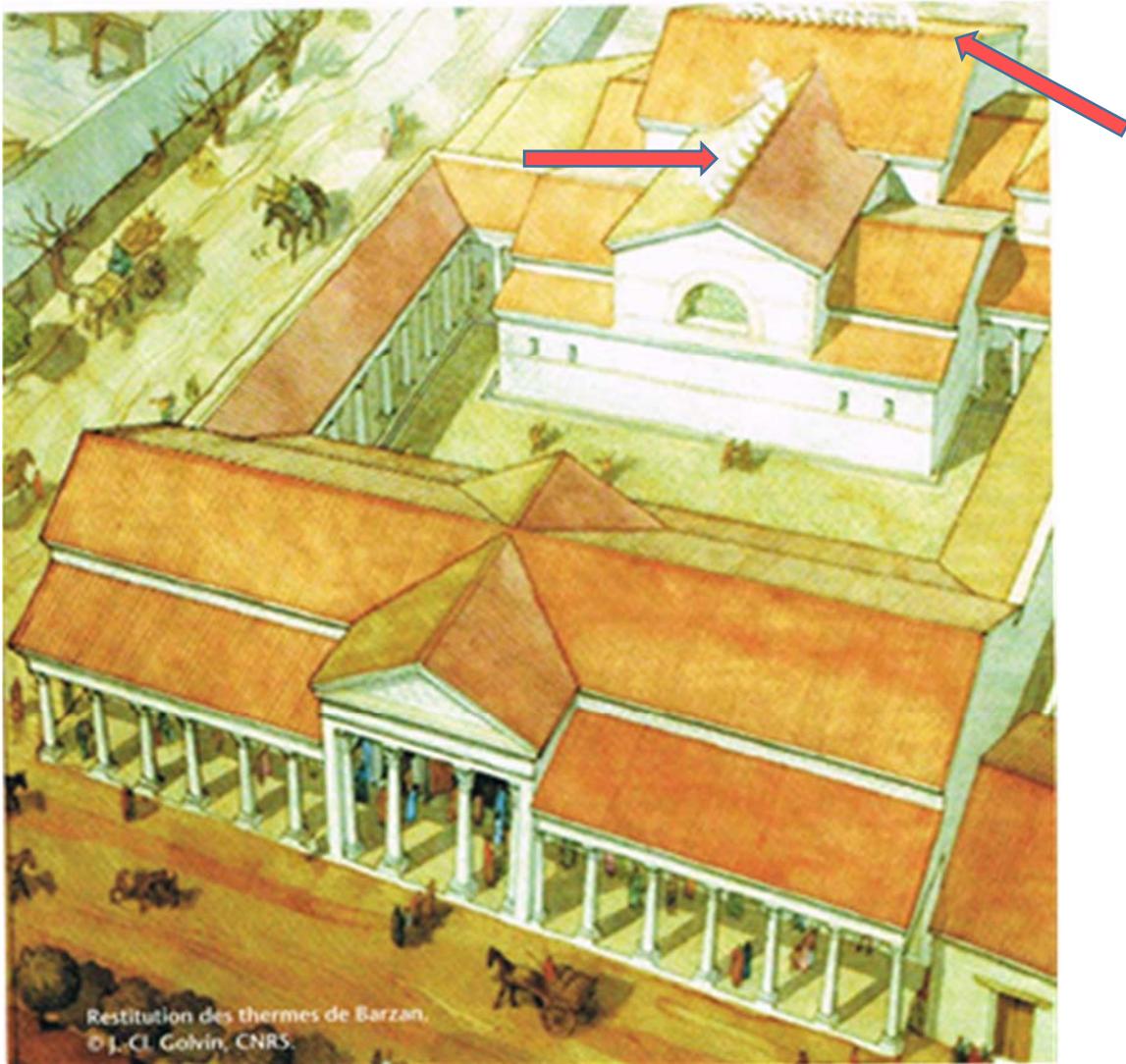


Ilustración 298. Restitución de las termas de Barzan (Francia). Extraído del artículo de Alain Bouet “Les thermes de Barzan” de la revista *Les dossiers d’archéologie* 2007.

La definición de los tres hornos se hizo con la introducción del área rectangular de la base que ocupa la zona de carga de cada horno. A dicha área se le indica una potencia calorífica que variará según las distintas hipótesis, y que empezará a mover la simulación del paso del aire caliente por dentro de los espacios por donde circula.

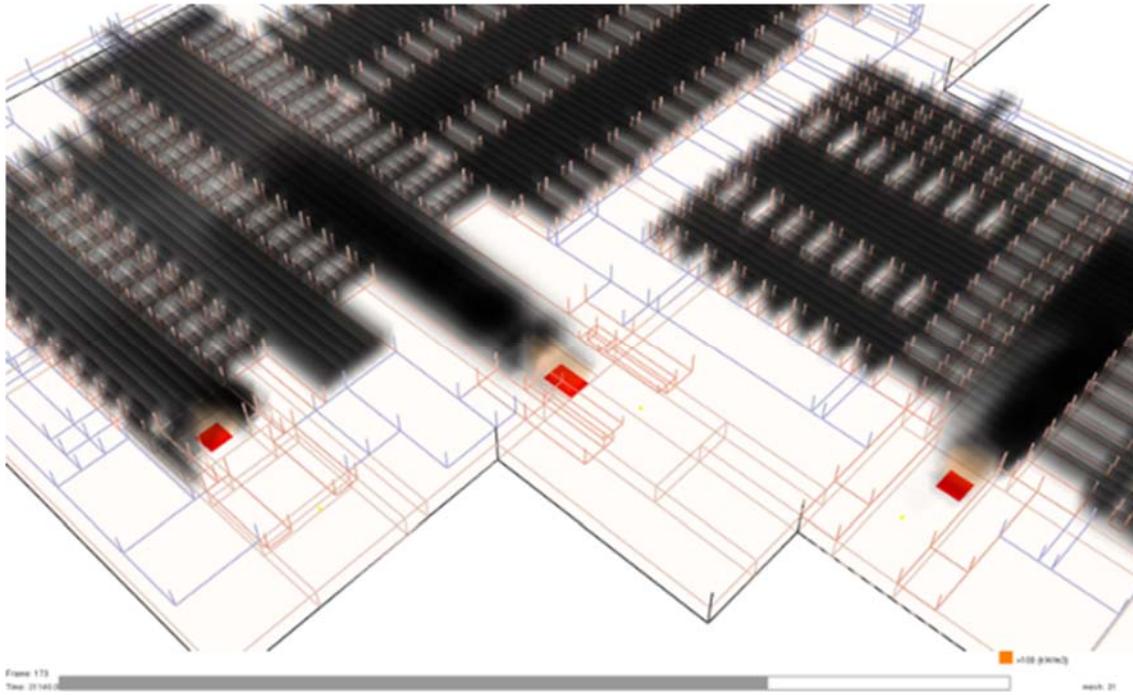


Ilustración 299. Sección del modelo realizado por la zona del *hypocaustum*. Se puede apreciar en rojo el área que ocupa cada horno y en negro el aire caliente que circula por el interior.

Una vez definida la fuente de calor y su potencia, el aire empieza a circular siguiendo los principios de la termodinámica ya estudiados. Hay que pensar que la distribución de todos los elementos constructivos generados en el *hypocaustum* tenía su razón de ser para aumentar la efectividad y aprovechar al máximo nivel el calor generado. En primer lugar, la forma abocinada del horno facilitaba la entrada del aire exterior con rapidez, aumentando su velocidad y mezclándose con la carga térmica del fuego. Posteriormente el aire encuentra durante su primer trayecto el camino más sencillo de circulación, que consiste en la dirección rectilínea hasta llegar a la pared contraria donde existe un hueco de ventilación en el muro que permite la subida del aire caliente debido a su menor densidad.

Pero lógicamente, el aire caliente no puede salir directamente por estos conductos desde el inicio del encendido, ya que la efectividad del calor no sería aprovechada para calefactar el resto de las salas. Por ese motivo, era necesario crear un protocolo y una frecuencia de apertura de estos conductos para poder conseguir el reparto más uniforme del calor del *hypocaustum*. Estas situaciones de encendido se explican en las diferentes hipótesis consideradas y que se han calculado desde un punto de vista que optimice el encendido del horno durante las horas de uso en un día. También se han tenido en cuenta las puertas que podrían utilizarse para separar las distintas salas permitiendo, o no, el paso del ambiente calefactado de una a otra sala. Mención aparte constituye la

abertura existente en la bóveda del ábside del *caldarium* y cuya apertura y cierre era básica para la funcionalidad de las termas, tal y como veremos en las hipótesis.

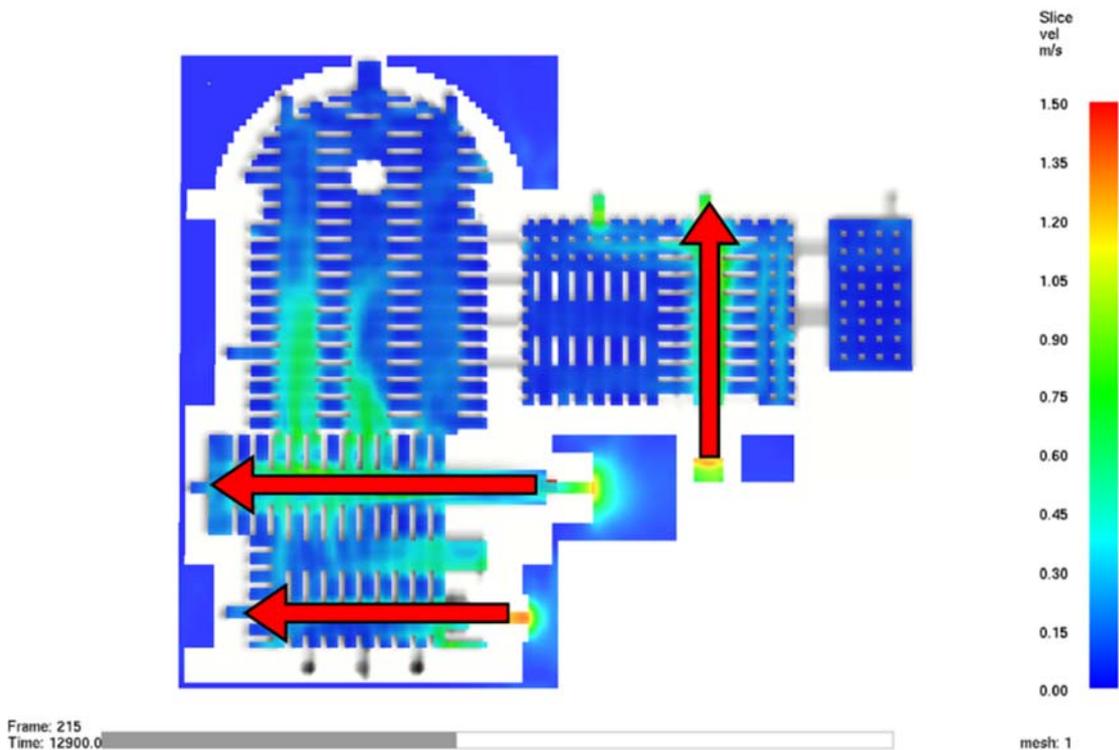


Ilustración 300. Esquema de circulación directa del aire caliente en dirección a los conductos de circulación situados enfrentados a los hornos.

Como última aportación en el diseño del modelo antes de entrar en los detalles de cada hipótesis, se especifican los puntos de control determinados en cada sala que se han introducido en el modelo. Estos sensores determinan la temperatura y el flujo del calor. Para ello se han creado varios planos de sección que permiten obtener las temperaturas y también los valores de las velocidades y direcciones de los flujos de aire caliente. En total se han colocado 126 sensores, 99 para determinar temperaturas y 27 para determinar los flujos de calor. La distancia entre ellos varía según los datos que se quieren conseguir. Así, en el *caldarium* se han dispuesto 72 sensores situados a varias alturas (sobre la superficie del pavimento, a 0,10 m y a 1,4 m del suelo) y a 1,5 m de la superficie de la pared, a 0,2 m de la superficie de la bóveda y en los puntos finales de las salidas de aire por los conductos de ventilación. En el *tepidarium*, 41 sensores, y en el *frigidarium*, 14, situados a las mismas alturas en ambas salas que los sensores descritos anteriormente.

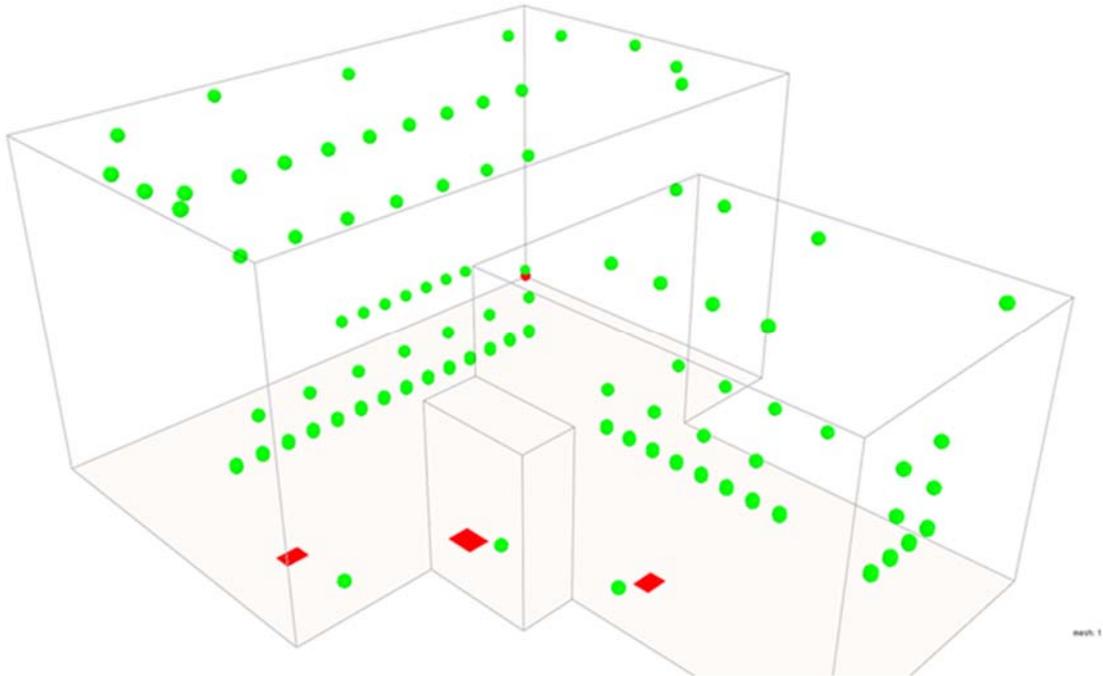


Ilustración 301. Situación de los sensores a lo largo de todas las salas.

Todos estos datos, después de procesados en el cálculo mediante el programa FDS, se codifican en una carpeta que posteriormente se edita y se traslada a una hoja Excel donde poder obtener las gráficas correspondientes de cada sensor durante el tiempo que ha estado recibiendo los datos.

La forma de realizar esta codificación se compone de varios términos. El primer término corresponde a identificar el tipo de sensor (**T** si es de temperatura, **F** si es de flujo). El segundo término corresponde a identificar la sala (**C** corresponde con el *caldarium*, **T** con el *tepidarium* y **F** con el *frigidarium*). El tercer término corresponde a identificar la situación del sensor (**a** si está suspendido en el aire, **s** si esta sobre la superficie del suelo, **p** si está sobre la superficie de la pared, **b** si está sobre la superficie de la bóveda). El cuarto término identifica la altura del sensor sobre la posición del suelo (**1** cuando se encuentra a 0,1 m del suelo, **2** cuando se encuentra a 1,4 m y **3** cuando se encuentra a 0,2 m de la bóveda). Por último, se especifican los dos dígitos que corresponden al número del sensor. Por ejemplo, TCa205, corresponde al sensor de temperatura situado en el *caldarium* que mide la temperatura a 1,4 m del suelo y que corresponde con el sensor 05.

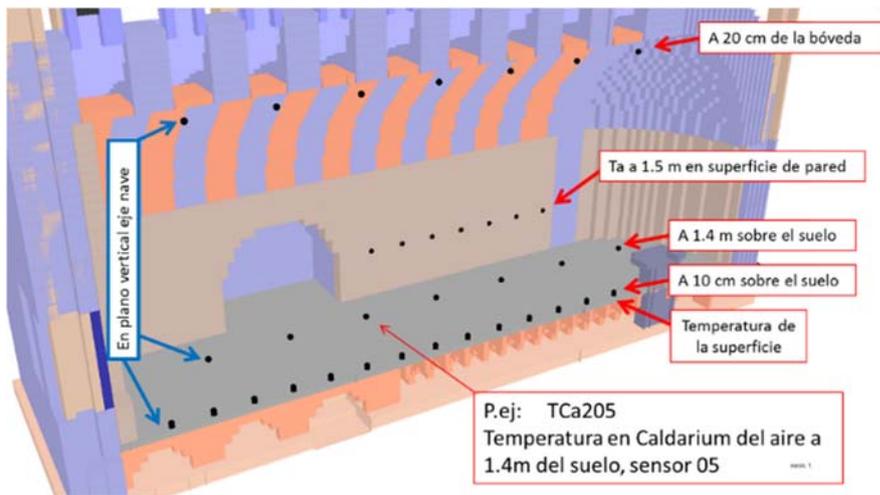


Ilustración 302. Situación de los sensores en el *caldarium*.

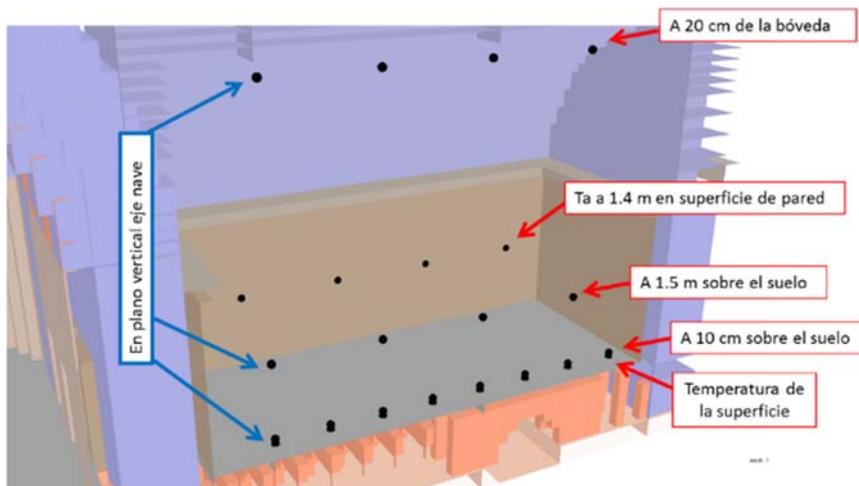


Ilustración 303. Situación de los sensores en el *tepidarium*.

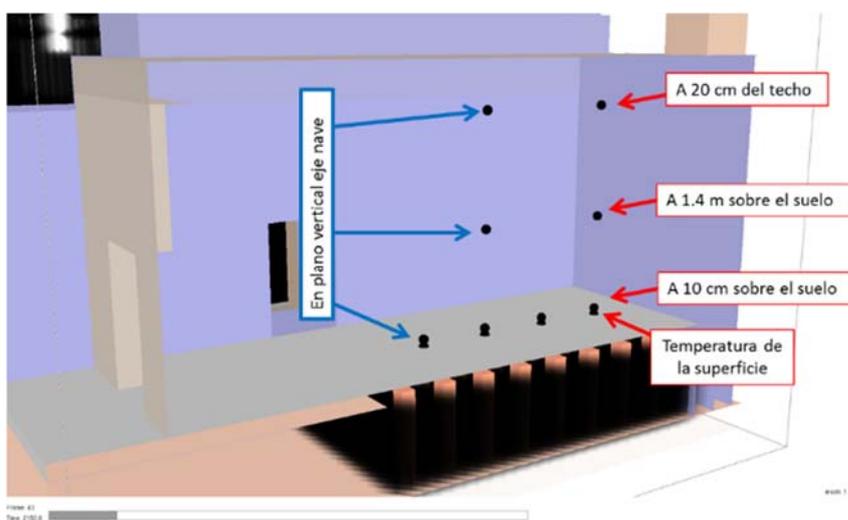


Ilustración 304. Situación de los sensores en el *frigidarium*.

### 5.3. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Se han realizado 12 hipótesis de cálculo en total que contabilizan aproximadamente más de 10.000 horas de procesado de las 39 simulaciones realizadas para obtener los datos con los ordenadores del centro de cálculo y otras tantas para su correcta interpretación de los resultados.

La serie de simulaciones y de hipótesis se describe a continuación:

## Hipótesis 1. Simulaciones Edeta205 y Edeta206

### Objetivo

Estudio de la funcionalidad del hueco existente en la cota del *hypocaustum* en el ábside del *caldarium*. Se evalúa a partir de dos simulaciones Edeta205 y Edeta206, en las que se mantienen abiertas o cerradas todas las conducciones según cada simulación.

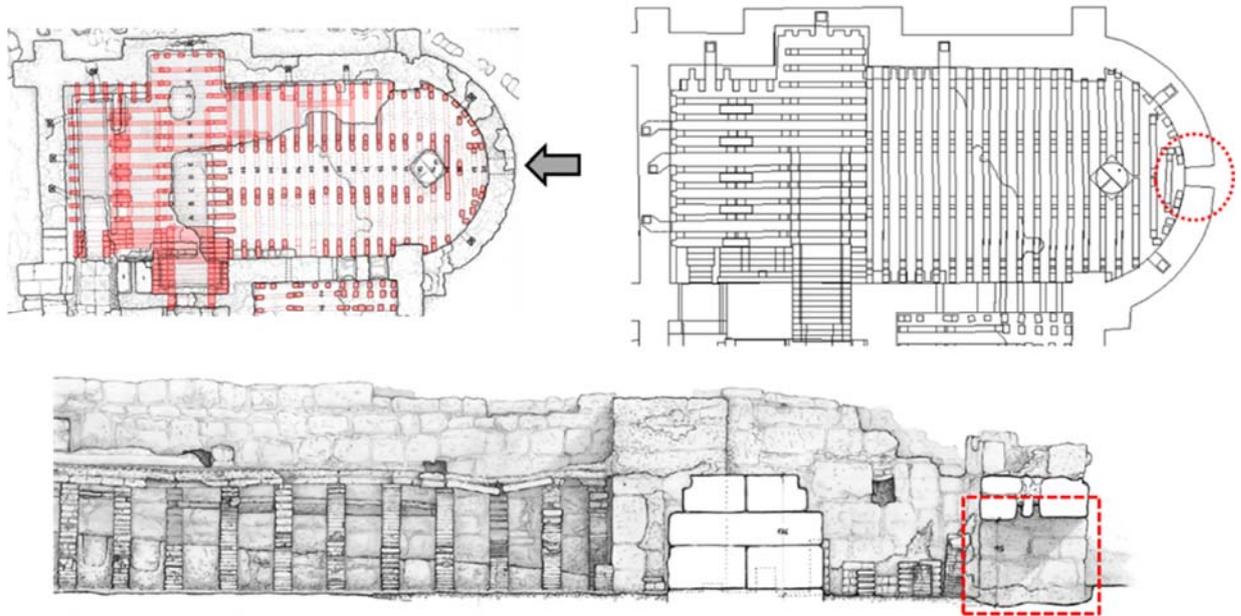


Ilustración 305. Situación del hueco existente en el ábside del *hypocaustum*. Los dibujos pertenecen al TFM del arquitecto Carles Jordi Grau que se presentará en el Máster de Conservación del Patrimonio Arquitectónico de la UPV (09/2017).

### Discusión y resultados

Después de las simulaciones en las que se comprobaba funcionamiento del complejo (Edeta200, Edeta201, Edeta202), se empezó a realizar una serie de hipótesis que hacían variar la circulación de aire y por consiguiente la temperatura final en el interior de las salas. En esta primera hipótesis, se va a realizar una doble simulación para poder establecer cuál es la misión de la abertura existente en el ábside del *caldarium* y que comunica directamente con el *hypocaustum*. El hueco tiene unas dimensiones de 0,63 m de ancho por 0,85 m de altura y 1,20 m de profundidad, por lo que se piensa que puede tener dos funciones.

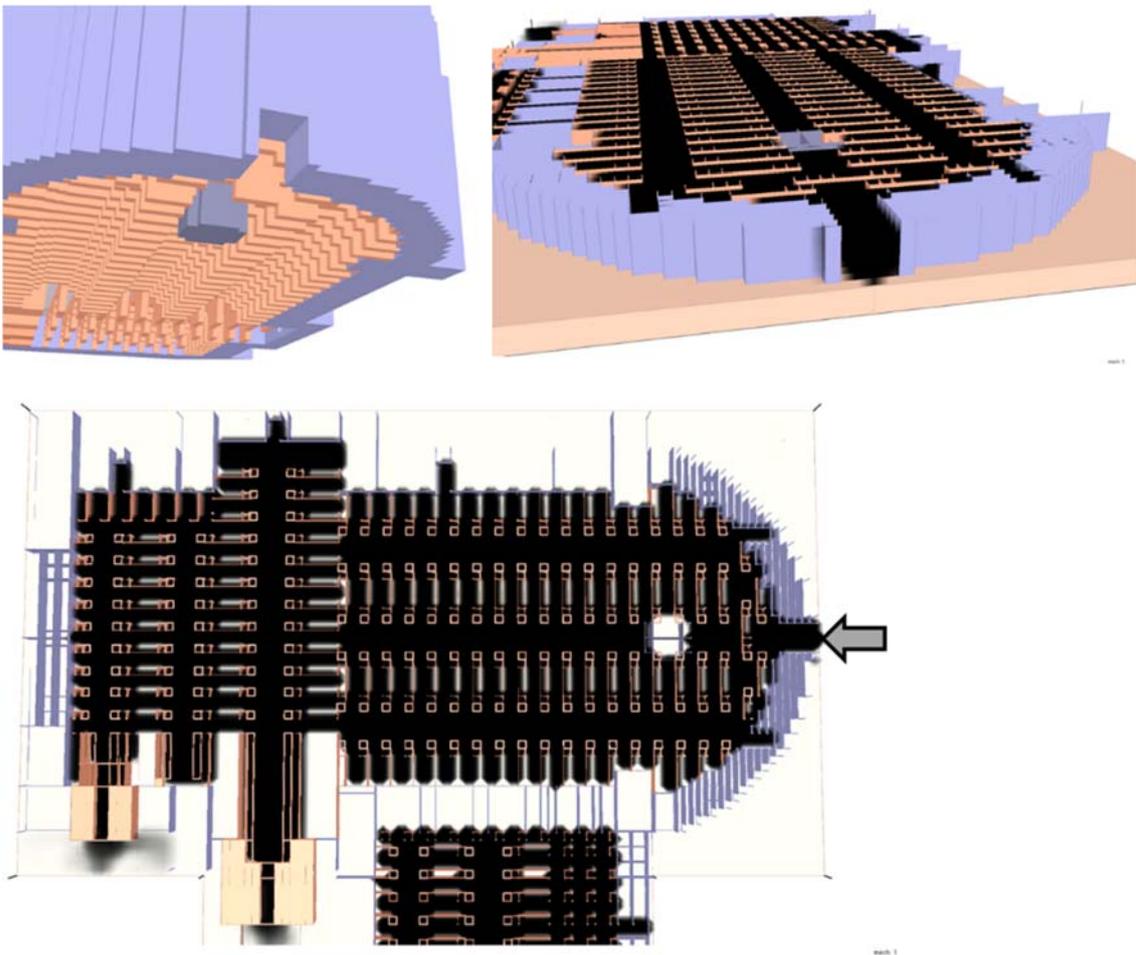
1. Ventilación dentro del sistema de circulación del aire caliente.
2. Acceso para conservación y mantenimiento del *hypocaustum*. Esta hipótesis no varía en cuanto a los resultados que la simulación nos ofrece, por tanto, se

mantiene como una opción a considerar si las dos simulaciones no determinan ninguna conclusión funcional con respecto a los aspectos térmicos que debe de tener este hueco.

Dentro de las funciones que podría tener como ventilación establecemos las siguientes:

1. Distribución de humos y gases calientes durante la fase de encendido
2. Salida de humos o entrada de aire durante el funcionamiento para conseguir algún efecto de ventilación o calentamiento de alguna zona del *caldarium*, principalmente en el ábside

Para poder obtener la funcionalidad de este hueco, se realizan dos simulaciones (Edeta205 y Edeta206) en las que, en ambas, se definen las mismas características de potencia de los hornos y de temperatura exterior, dejando abierto el hueco del ábside desde el inicio del procesado y variando, únicamente, las condiciones de aberturas del resto de las conducciones.



Ilustraciones 306, 307 y 308. Distintas secciones de la geometría del modelo durante el procesado de los resultados.

Las condiciones de la simulación Edeta205 y Edeta206 son las siguientes:

Características	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	480 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	288 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	288 kw
Potencia máxima total	1056 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 14. Condiciones de la simulación Edeta205 y Edeta206.

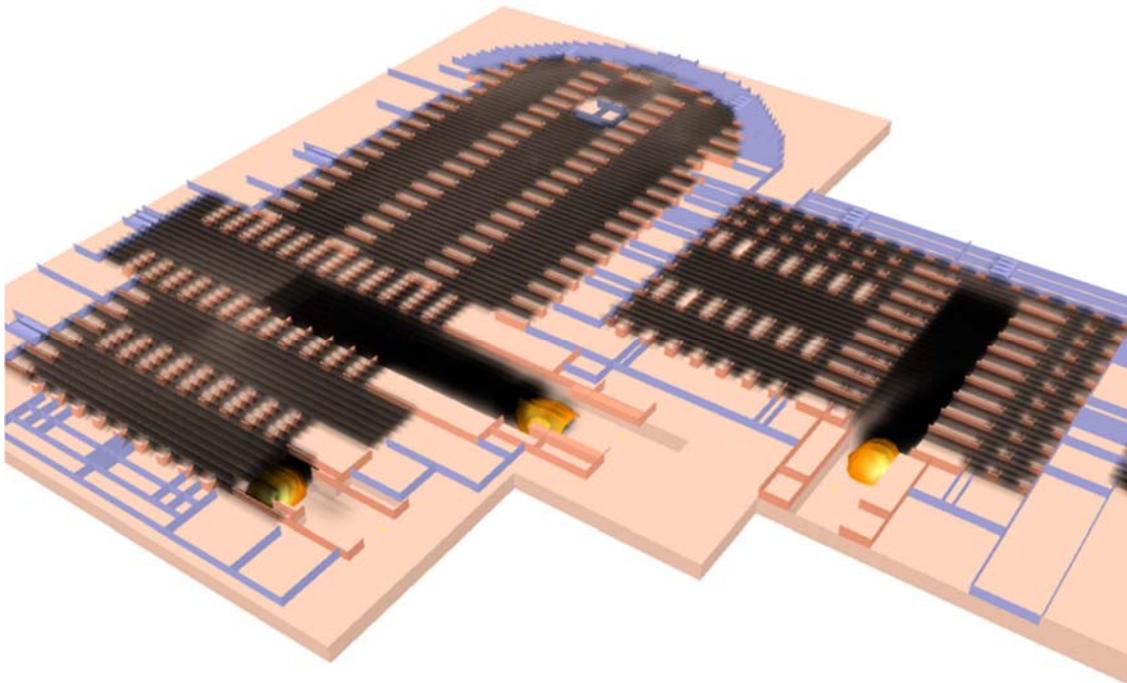


Ilustración 309. Sección del modelo en el caso Edeta206 por el *hypocaustum* para apreciar la carga de los hornos.

En la simulación Edeta205 se dejan abiertos todos los conductos desde el principio hasta el final del procesado, al igual que el hueco objeto del estudio de esta hipótesis.

Desde el inicio de la simulación se observa que el humo y por lo tanto los gases calientes no llegan hasta el final del *hypocaustum* y por el hueco del ábside no sale el aire caliente, sino que entra aire frío.

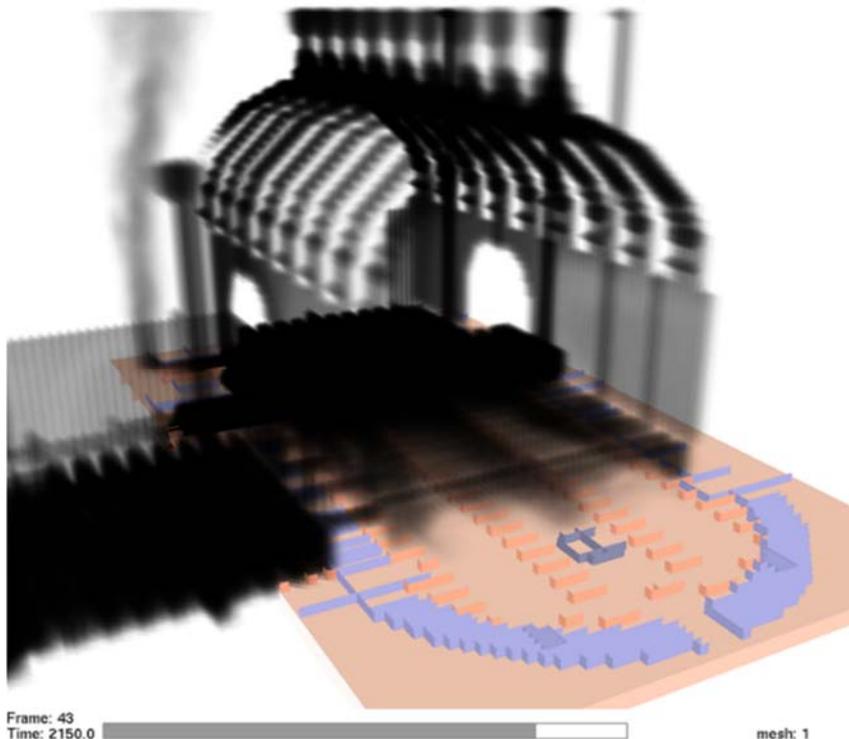


Ilustración 310. Detalle de la circulación del aire caliente por los conductos. Se puede observar que en la zona del ábside no se produce ninguna circulación del aire calefactado debido a la entrada del aire exterior.

También se observa que todos los gases que generan los dos hornos del *caldarium* salen por las salidas más cercanas y, sobre todo, por las chimeneas de la bóveda, no llegando al final del *hypocaustum* y, por consiguiente, no llegando a distribuir las temperaturas de forma uniforme a lo largo de toda la sala.

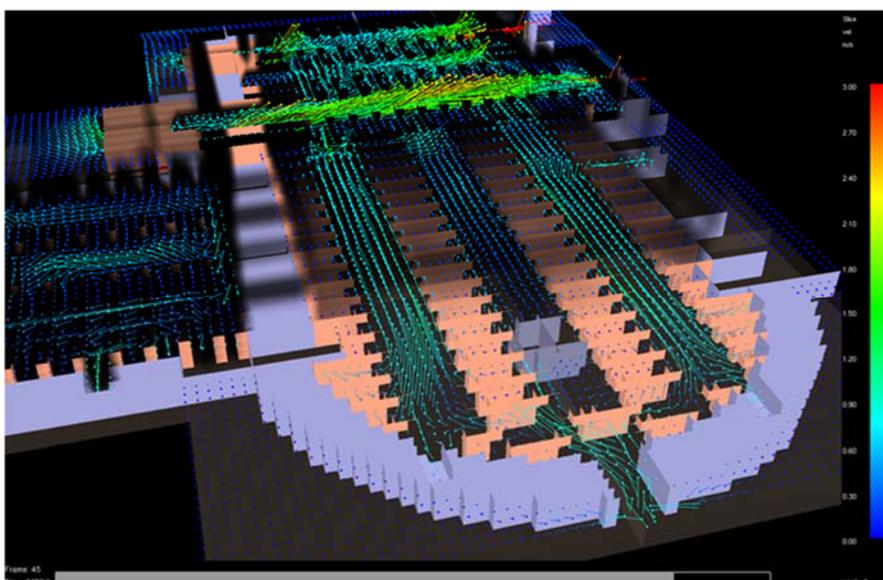


Ilustración 311. Esquema de la velocidad de los flujos de circulación del aire.

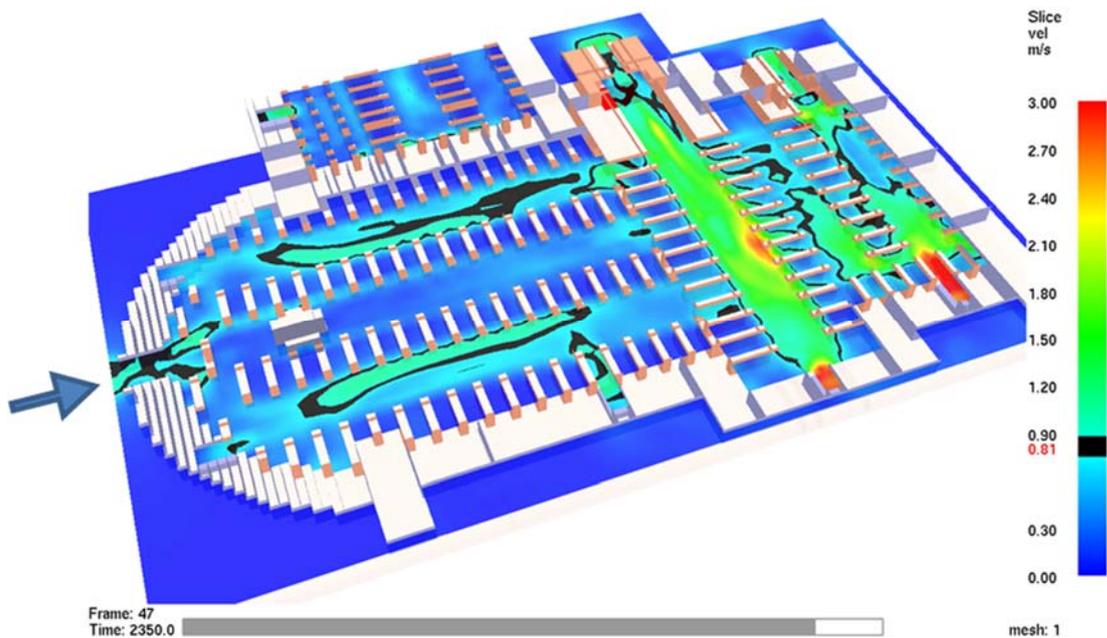


Ilustración 312. Identificación de las zonas con la misma velocidad del flujo de aire (zona de color negro).

La velocidad de entrada del aire por el hueco del ábside es de 0,8 m/s, manteniendo un flujo, más o menos constante, de 0,2 m<sup>3</sup>/s después de los primeros 100 segundos.

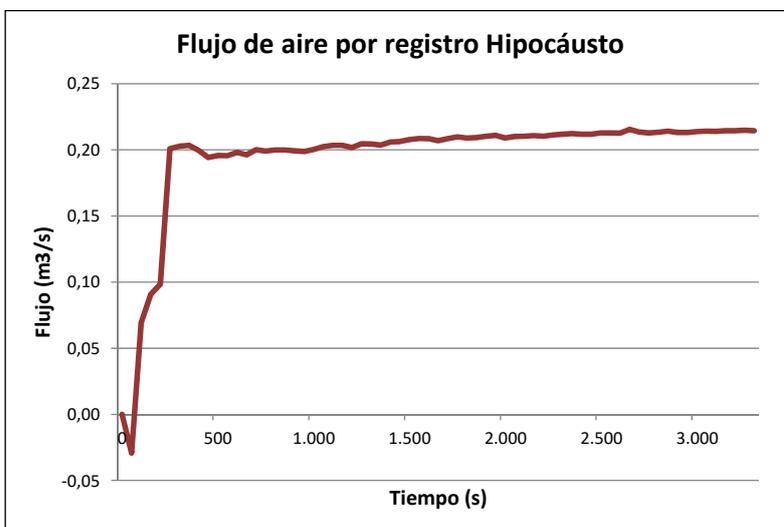


Tabla 15. Flujo en la entrada del hueco del ábside según el tiempo considerado.

Las temperaturas se pueden determinar mediante un plano de corte a 0,8 m de altura coincidiendo con la suspensura, de forma que podemos observar la distribución no uniforme que se alcanza en el pavimento. Además, otro dato que podemos extraer como conclusión es que la potencia de carga térmica considerada es excesiva, ya que en los

puntos más cercanos al *praefurnium* se alcanzan temperaturas muy elevadas, cercanas a los 60 °C, haciendo casi imposible el transitar por dichas zonas.

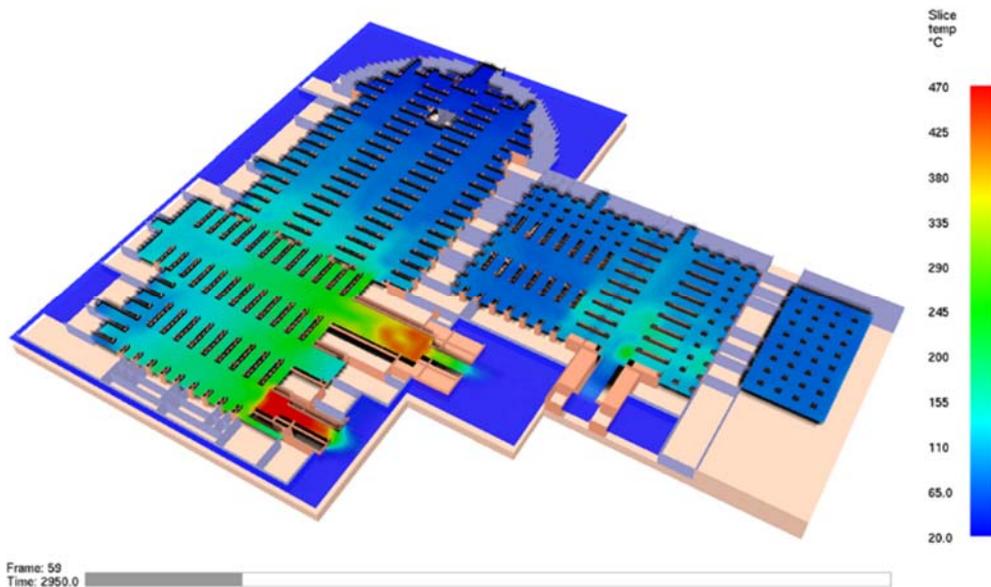


Ilustración 313. Sección por el *hypocaustum* donde se puede apreciar la falta de uniformidad de temperaturas después de los primeros 2.450 segundos.

La segunda simulación (Edeta206) mantiene todas las mismas condiciones que la simulación primera (Edeta205), pero se dejan cerradas todas las chimeneas tanto de los muros como de las bóvedas para determinar la circulación del aire desde los hornos hasta el hueco del ábside y comprobar su comportamiento.

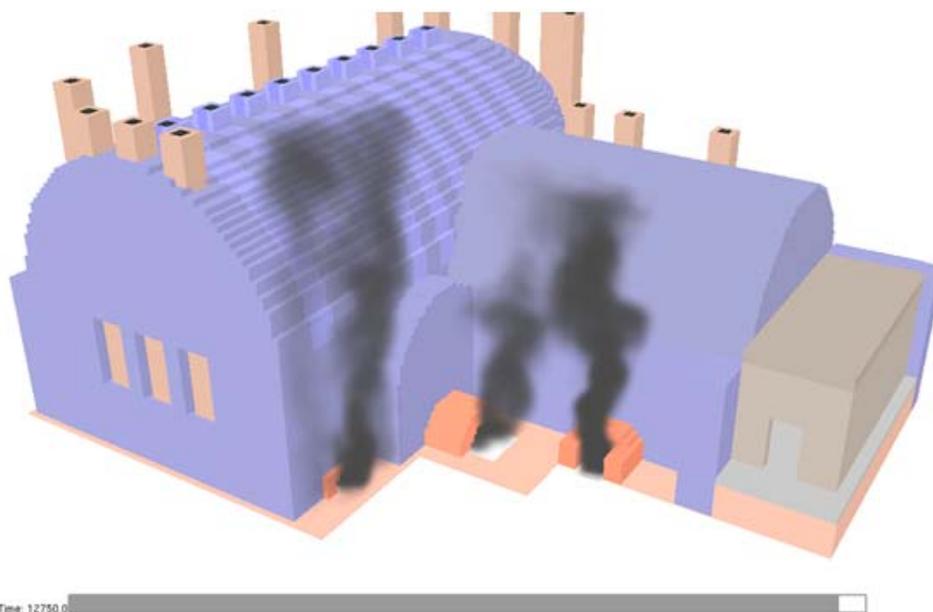


Ilustración 314. Imagen correspondiente a la salida del aire caliente por los hornos después de 12.750 segundos al no poder circular por el interior de los espacios de las salas.

Se observa una leve salida de humo por el hueco, pero su intensidad no aumenta con el paso del tiempo, por lo que no realiza la función de extender los gases calientes y homogeneizar las temperaturas. Se observa también que el humo se exterioriza en los tres hornos durante todo el tiempo simulado, sin conseguir formar la circulación necesaria hacia el interior en ningún momento.

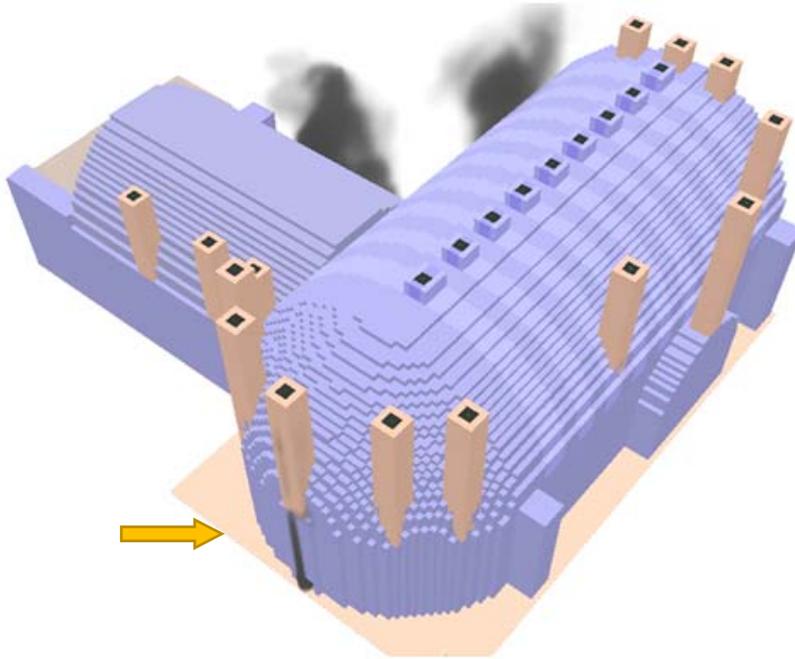


Ilustración 315. Imagen del modelo desde el ábside donde se aprecia la salida del aire caliente.

Se observa que las temperaturas se distribuyen por el *hypocaustum* alcanzando valores mayores con respecto a la simulación anterior, pero sin llegar a uniformizar todo el espacio.

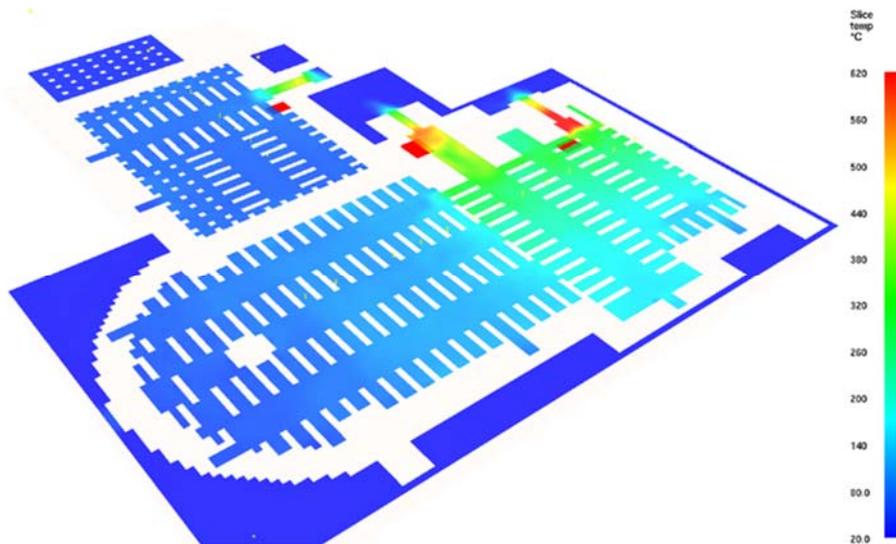


Ilustración 316. Sección por la zona del *hypocaustum* donde se aprecia la falta de uniformidad de las temperaturas.

Se observa que, al estar todas las salidas de humo superiores cerradas, parte del humo sale por el hueco del ábside, pero sin caudal importante ni suficiente para permitir extender los gases calientes por todo el *hypocaustum* y calentar la zona del ábside.

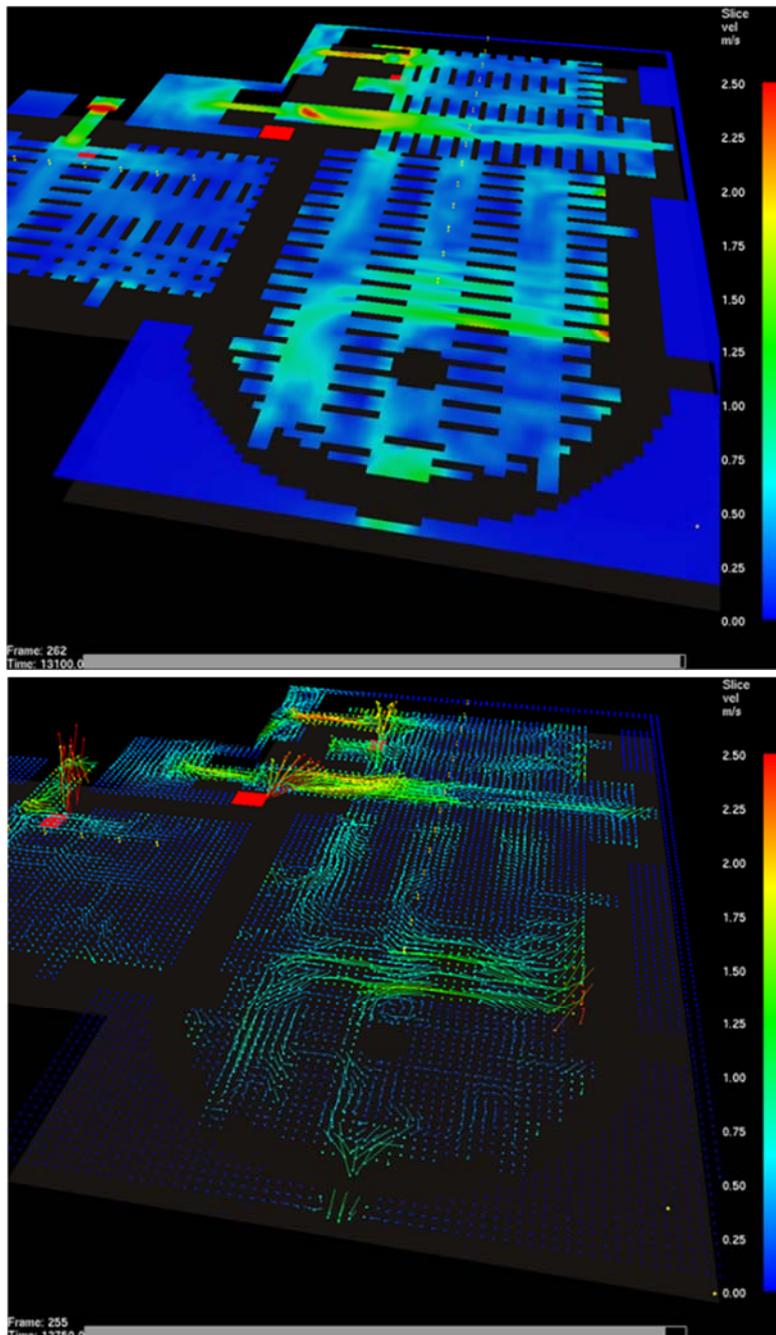


Ilustración 317 y 318. Sección por el *hypocaustum* para identificar la velocidad y dirección del flujo de entrada del aire.

Otro de los aspectos que se observan en esta simulación es el comportamiento del *hypocaustum* del *frigidarium*. Al no habilitar ningún conducto de ventilación en el interior

de este espacio, esta zona se encuentra sin calefactar, ya que el aire caliente no puede circular por el interior, subiendo la temperatura únicamente 2 °C. Por tal motivo se plantea una hipótesis que permita habilitar una conducción para devolver la funcionalidad a la sala.

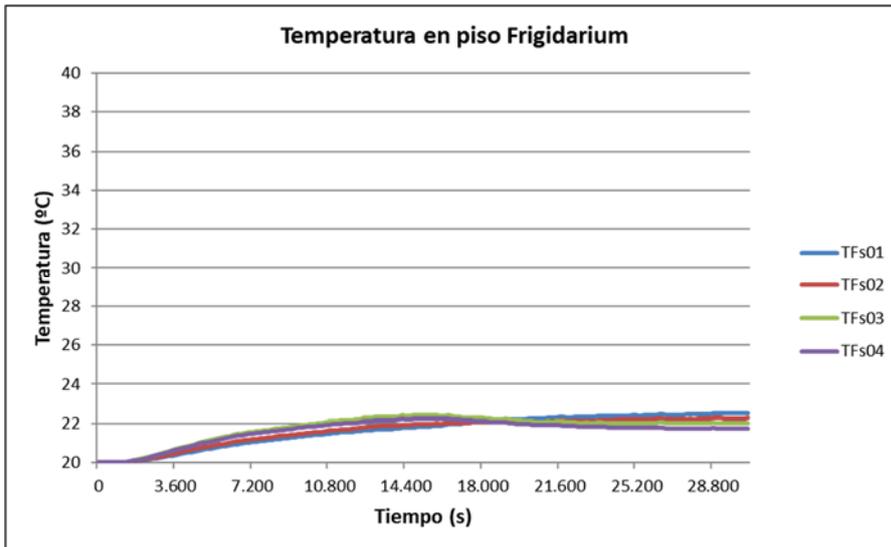


Tabla 16. Temperatura en los sensores situados en el suelo del *frigidarium*.

### Conclusión

El hueco existente en el ábside no forma parte del sistema de ventilación térmica del edificio, ya que no consigue uniformizar los valores de temperatura alcanzados durante la simulación.

Por tanto, se corrobora que la posible función de este hueco es la de permitir el acceso para una conservación o mantenimiento del *hypocaustum*. Es evidente que el tener el hueco abierto no hace más que dificultar la circulación del aire caliente, indistintamente de si se encuentran las aberturas verticales abiertas o cerradas. Por tal motivo se indica que sería necesario que durante el funcionamiento de la instalación esta abertura tendría que estar cerrada, pudiéndose abrir para temas de mantenimiento o para un enfriamiento rápido de la instalación. Además, observando con detalle las alturas máximas de los arcos del *hypocaustum* y el dintel del hueco se puede constatar una diferencia de cota que dificultaría la evacuación natural del aire caliente al estar más bajo el dintel que los puntos más altos de los arcos.

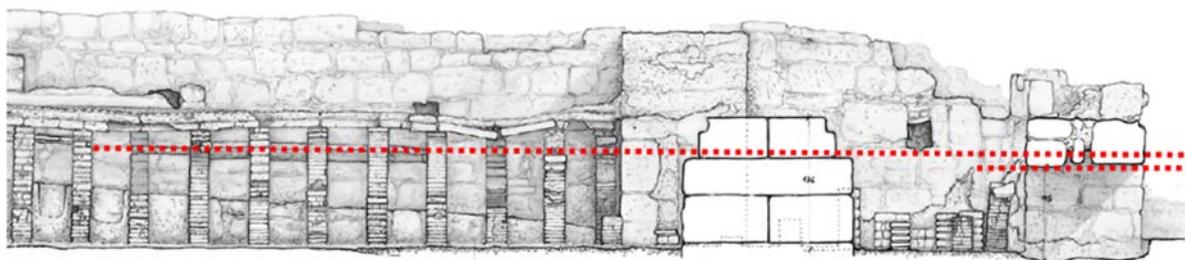


Ilustración 319. Sección por la zona del hueco del ábside identificando la diferencia de cota entre la zona superior del *hypocaustum* y el dintel del hueco existente en el ábside. Autor del croquis: Carles Jordi Grau.

Además, se ha podido constatar que la potencia del horno simulada es demasiado alta, ya que genera temperaturas en la sala del *caldarium* superiores a los 60 °C, lo que es una temperatura excesiva para este tipo de instalación, decidiendo para hipótesis futuras reducir la mitad de la carga térmica.

En esta hipótesis también se constata que el *tepidarium* no funciona correctamente debido a que todo el flujo de aire caliente no encuentra una salida óptima para su circulación. Es evidente que de la *concameratio* deberían de existir varias salidas hacia el exterior para hacer funcional este espacio. Dado que el *caldarium* presenta la singularidad del sistema constructivo abovedado con los canales de conducción, se cree oportuno dimensionar esta solución para dicha sala, aunque no existan evidencias de restos de sillares con esta particularidad.

## Hipótesis 2. Simulaciones Edeta207, Edeta208 y Edeta209

### Objetivo

Hacer efectiva la circulación del aire caliente por la sala del *tepidarium*, disminuyendo la potencia del fuego introducida y generando dos fases: una de encendido y otra de mantenimiento de la instalación.

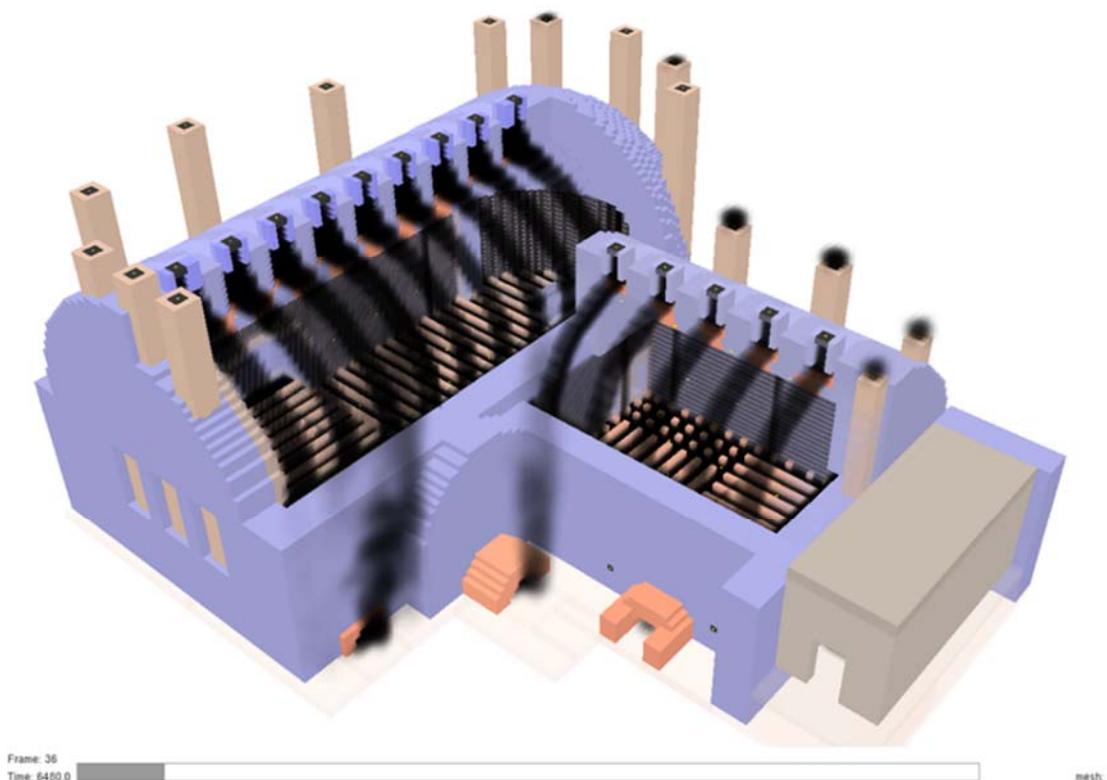


Ilustración 320. Imagen seccionada del modelo para poder ver la circulación del aire caliente por los distintos conductos.

### Resultados y discusión

Se decide realizar tres simulaciones para comprobar esta hipótesis, Edeta207, Edeta208 y Edeta209. De las tres se indican los resultados más concluyentes para esta hipótesis y que son los resultados de Edeta207 y Edeta209, en los que se varía la carga de la potencia térmica en los hornos y el tiempo de encendido y mantenimiento. El caso Edeta208 no se incluye al presentar unos resultados excesivamente desproporcionados de temperatura debido a una carga excesiva de potencia en el horno, quedando los casos más concluyentes para demostrar la hipótesis los obtenidos en Edeta207 y Edeta209.

La aportación principal de esta hipótesis es la decisión de incluir 5 salidas en la bóveda del *tepidarium*, tal y como se ha realizado en el *caldarium*. No hay constancia arqueológica de restos en esta sala de dicho sistema constructivo, pero, tal y como se ha visto en la

hipótesis anterior y en las simulaciones realizadas hasta el momento, es necesario que esta sala tuviera un sistema de ventilación para permitir la circulación del aire caliente por la *concameratio* de una forma eficaz y óptima. Posteriormente valoraremos la salida por la chimenea o por aperturas practicadas en el muro de la sala en otras hipótesis.

En la simulación Edeta207 se decide mantener la potencia térmica generada anteriormente con 1056 kW en total, pero realizando un protocolo de apertura de los conductos para observar la variación de flujos y temperaturas en el *caldarium*. La secuencia de apertura mantiene abiertos, durante los primeros 3.000 segundos, los conductos más distantes del *caldarium* y *tepidarium*, para intentar que el aire caliente recorra la máxima distancia posible calentando de esa manera el máximo de la instalación.

Características simulación Edeta07	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	480 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	288 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	288 kw
Potencia máxima total	1056 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 17. Condiciones de la simulación Edeta207.

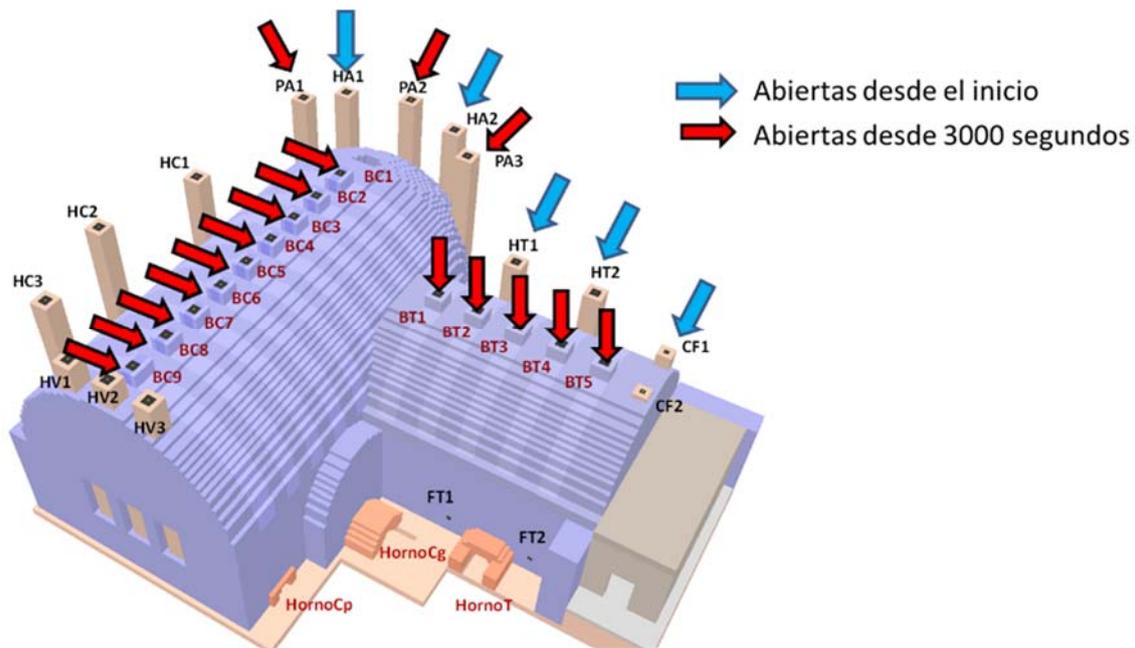
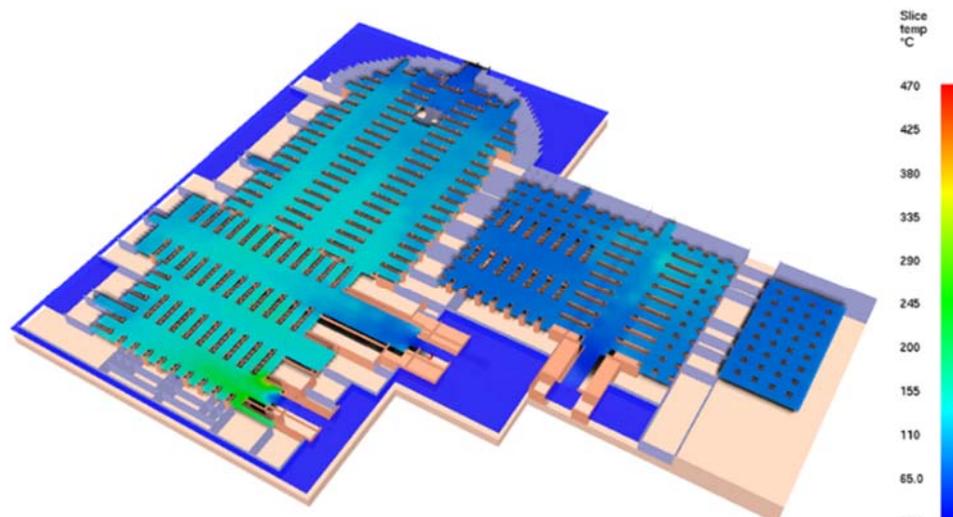
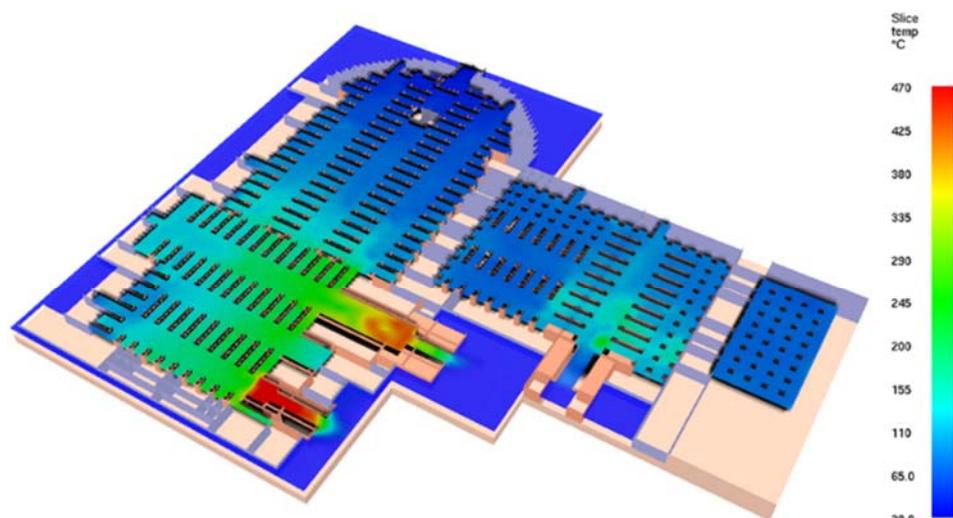


Ilustración 321. Identificación de los conductos que se abren en el inicio y trascurridos 3 000 segundos.

Los resultados antes y después de las aperturas de los conductos de las bóvedas nos demuestran que se consigue repartir con una mayor uniformidad el calor por las salas,

a excepción del *frigidarium*, que no consigue variar prácticamente su temperatura. Hay que destacar que durante la primera fase del encendido la uniformidad del calor no es completa, aunque se han abierto las conducciones más lejanas a los hornos.

También se puede constatar que las temperaturas alcanzadas son excesivamente altas, conclusión que ya habíamos determinado en la hipótesis anterior. Con esta potencia calorífica se consigue prácticamente una temperatura media que supera los 50 °C, incluso apareciendo valores en algunos sensores cercanos a los 60 °C, temperatura altamente improbable que se pudiera alcanzar para una instalación en la que los usuarios solían ir descalzos. También es importante destacar que los sensores que alcanzan primero las temperaturas más altas son los que se encuentran en la posición más cercana a los hornos.



Ilustraciones 322 y 323. Sección por el *hypocaustum* donde se puede apreciar la uniformidad que se va alcanzando según el tiempo transcurrido.

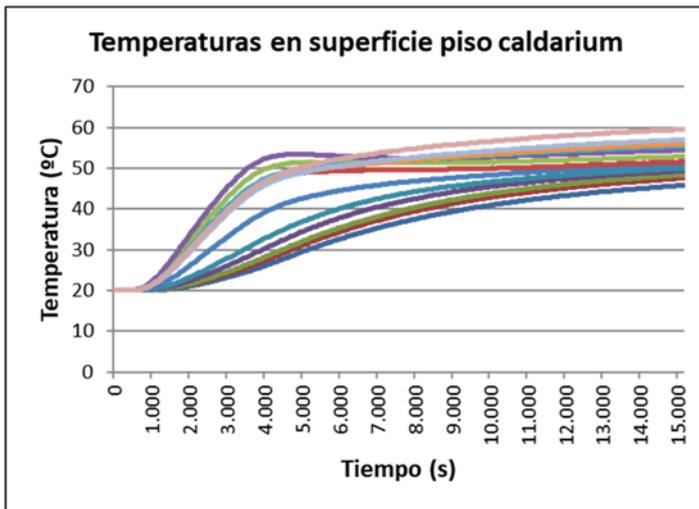


Tabla 18. Temperaturas alcanzadas en los sensores situados sobre la superficie del *caldarium*.

Se observa, además, cómo los flujos circulan de forma bastante homogénea, aunque durante el primer encendido se puede constatar que no se ha conseguido optimizar el calentamiento uniforme, pudiendo afirmar que antes de la apertura de los conductos más distantes se debe de realizar una apertura de los conductos más cercanos de forma que las salidas de aire caliente puedan repercutir consiguiendo una mayor homogenización de las temperaturas. También se observa que una vez abiertos los conductos de la bóveda se produce una reducción del flujo en los conductos abiertos desde el inicio, que se recupera aproximadamente en 1800 segundos (media hora).

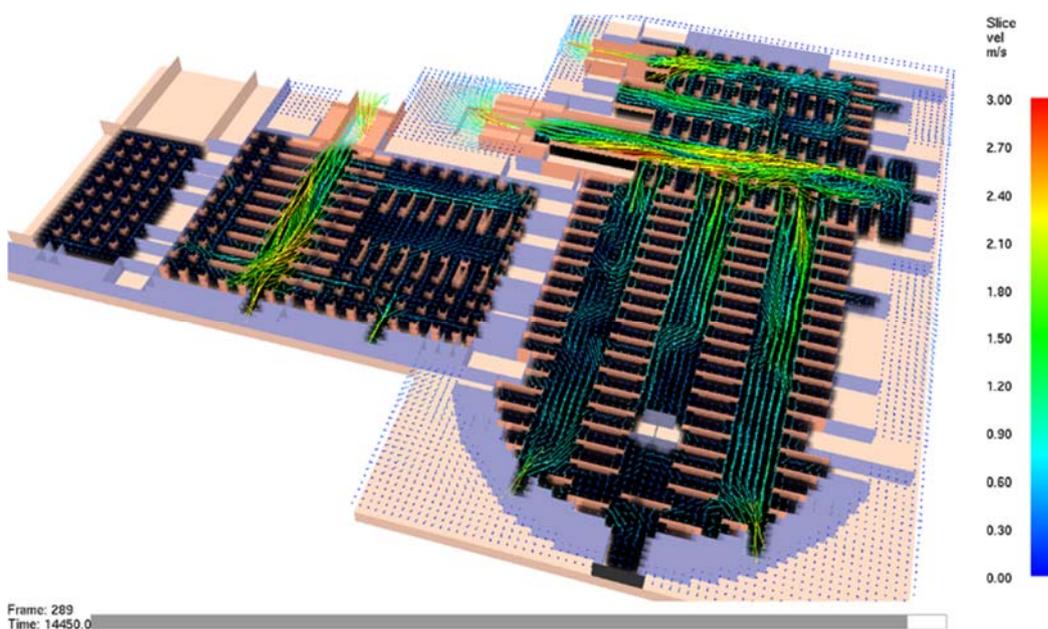


Ilustración 324. Sección por el *hypocaustum* donde se puede apreciar las velocidades y dirección de los flujos.

Un aspecto singular es observar la velocidad del flujo por las salidas de los conductos y que según la tabla siguiente evidencia la disminución del mismo una vez se realiza una apertura de cualquier conducto o se cambian las condiciones de la potencia calorífica de los hornos, presentando un salto de esta velocidad muy evidente.

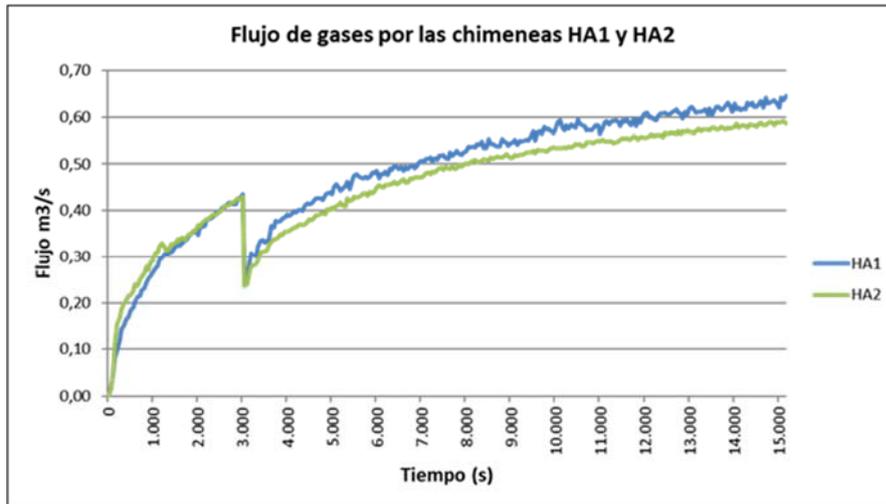


Tabla 19. Flujos de gases por los conductos HA1 y HA2.

En la simulación Edeta208 se cambió la potencia calorífica al doble, constatando que la temperatura de la sala del *caldarium* llegaba a superar los 80 °C, lo que era altamente improbable que pudiera suceder por lo intransitable e inhabitable en que se convertiría dicha sala. Por este motivo se decide no incluir los resultados obtenidos al ser intrascendentes en el objetivo de esta hipótesis.

En la simulación Edeta209 se decide disminuir la carga térmica de cada horno después de los resultados tan altos determinados en las dos simulaciones anteriores. Además, se decide pautar esta carga térmica en dos instantes. El primer tramo corresponde con el encendido de la instalación en el que se ha fijado un valor de potencia de todos los hornos de 336 kW. El segundo tramo se decide disminuir a la potencia de 56 kW en total. Con esta sucesión de cargas se pretende observar el comportamiento del flujo y temperatura de cada sala, intentando demostrar la hipótesis de que una vez encendido el horno, este se debería mantener con muy poca carga. Se fija el valor a los 10.000 segundos (2,7 horas) como el límite de cambio de potencia, considerando que en este tiempo la instalación ya ha conseguido la temperatura idónea y tan solo se necesita una carga mínima para el mantenimiento del calor.

Las condiciones del caso Edeta209 son las siguientes:

Características simulación Edeta09 (hasta 10.000 segundos)	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	168 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	84 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	84 kw
Potencia máxima total	336 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 20. Condiciones de la simulación Edeta209 hasta los 10.000 segundos.

Características simulación Edeta09 (a partir de 10.000 segundos)	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	28 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	14 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	14 kw
Potencia máxima total	56 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 21. Condiciones de la simulación Edeta209 después de los 10.000 segundos.

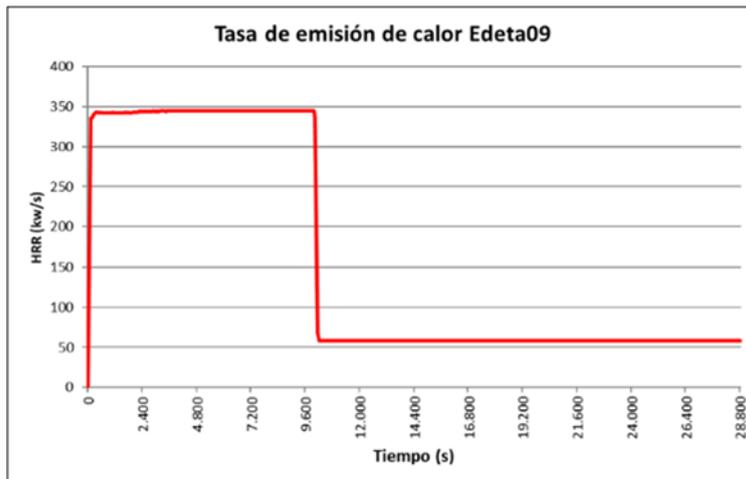


Tabla 22. Valor del HRR según el tiempo transcurrido en la simulación Edeta209.

Al observar cómo se ha comportado la instalación en la simulación Edeta207, se fija un protocolo de apertura de los conductos de forma que los situados con comunicación directa desde el *hypocaustum* se abren al inicio de la simulación, y los conductos situados sobre las bóvedas se abren a los 10.000 segundos.

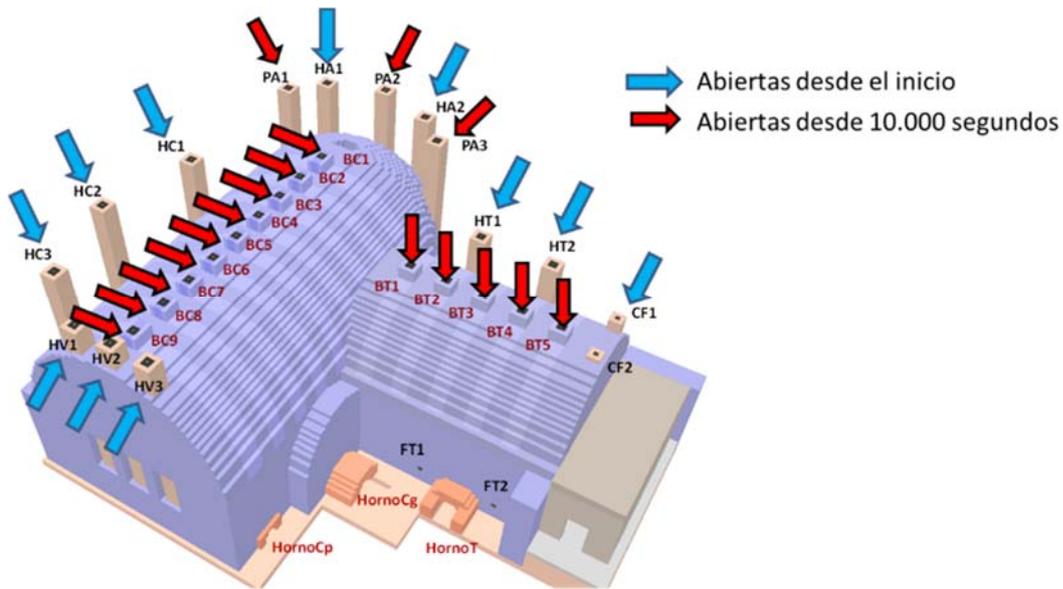


Ilustración 325. Identificación de los conductos que se abren en el inicio y a los 10.000 segundos.

Los resultados obtenidos demuestran que las temperaturas en las salas pierden rápidamente la temperatura alcanzada durante el encendido determinando que la instalación se enfría rápidamente debido a la circulación rápida de salida del aire calefactado. Las temperaturas obtenidas en el suelo de las tres salas a los 10.000 segundos son bastante bajas para una instalación de este tipo, suponiendo que la carga térmica y su mantenimiento no es el óptimo. Se observa que la distribución de temperaturas en el *caldarium* no es uniforme. En el *tepidarium* al haber un solo horno la temperatura es algo más baja y sí que se ha conseguido unificarla. En el *frigidarium* la temperatura apenas supera los 22 °C, siendo insignificante con respecto a la temperatura inicial de 20 °C.

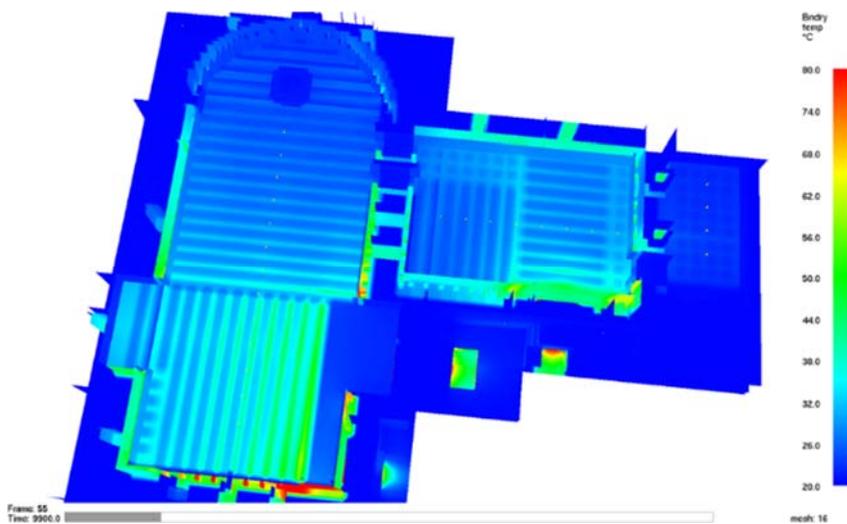


Ilustración 326. Sección por el *hypocaustum* donde se puede constatar la falta de uniformidad de las temperaturas en las distintas salas.

Durante la primera fase del encendido las temperaturas llegan hasta los 40 °C en las zonas más cercanas a los hornos en la sala del *caldarium*, pero posteriormente, al reducir la tasa de emisión de calor a 56 kW, la instalación se enfría hasta quedar entre 23 y 27 grados que se presuponen como insuficiente para las temperaturas esperadas en esta sala de las termas.

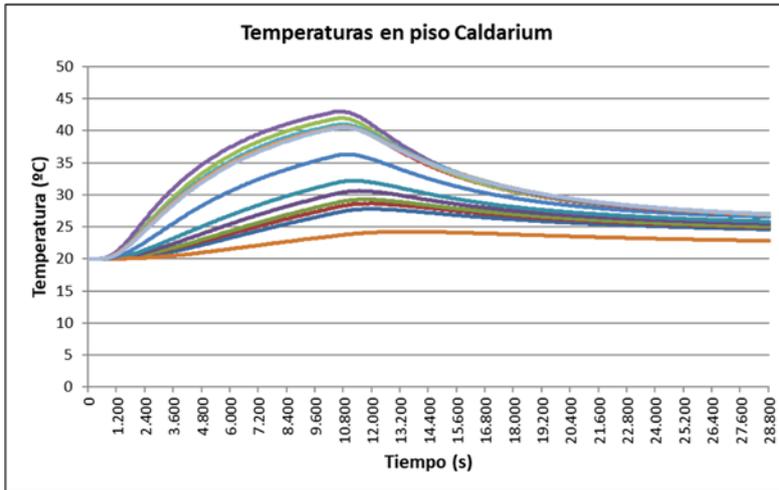


Tabla 23. Temperaturas de los sensores en el suelo del *caldarium*.

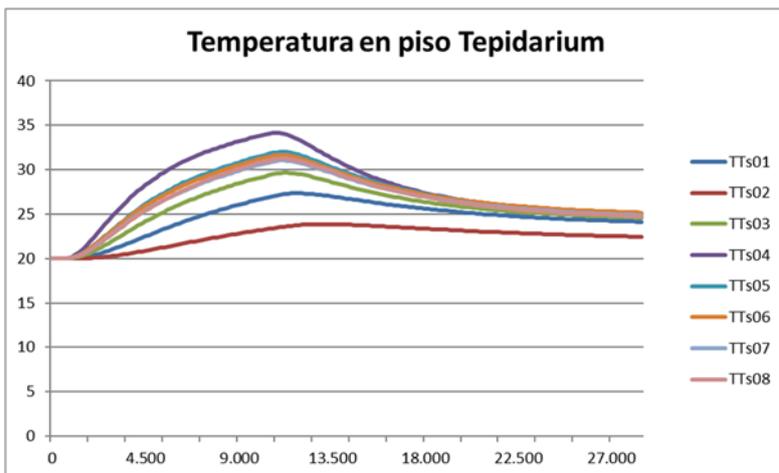


Tabla 24. Temperaturas de los sensores en el suelo del *tepidarium*.

Mediante los sensores situados a 20 cm de la bóveda se puede identificar la temperatura alcanzada en este punto marcando de una forma bastante acusada la diferencia de temperaturas una vez abiertas las conducciones de la bóveda.

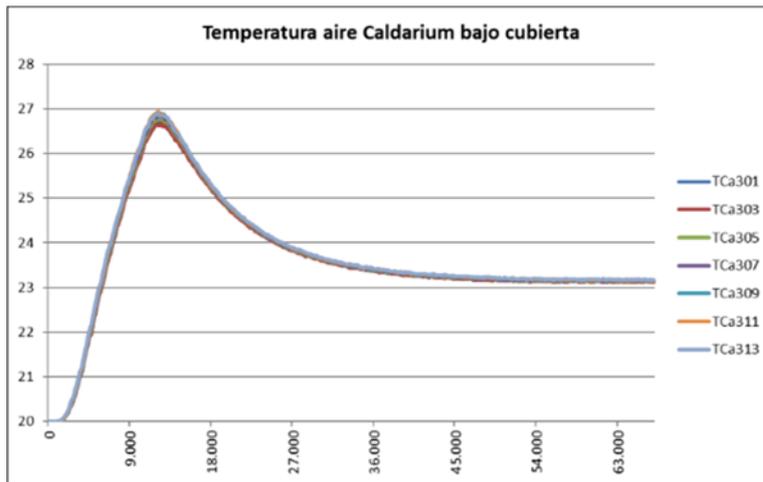
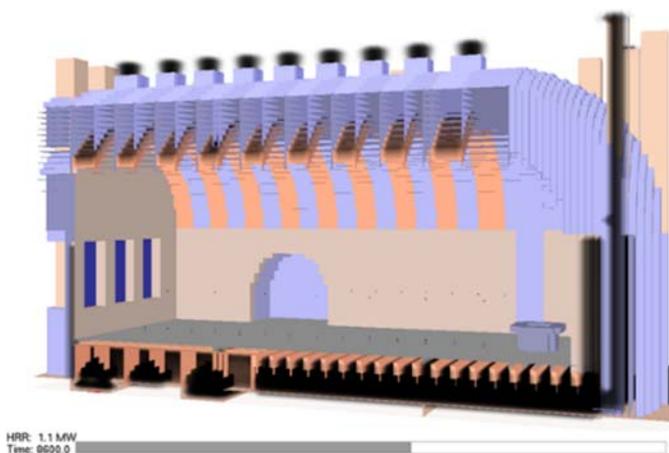
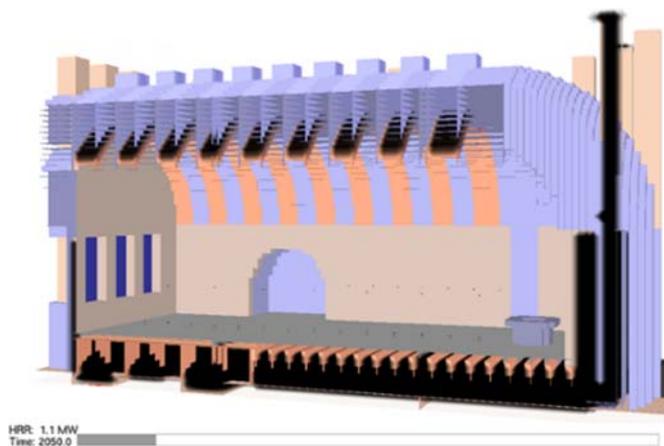


Tabla 25. Temperaturas de los sensores situados a 20 cm de la salida de los conductos en la bóveda del *caldarium*.

Respecto a los flujos, se puede observar el descenso rápido que se produce después de la apertura de los conductos de la bóveda en las chimeneas que comunican directamente con el *hypocaustum* y cómo se consigue posteriormente un reparto uniforme del flujo.



Ilustraciones 327 y 328. Sección longitudinal del modelo en distintos momentos durante la apertura de los conductos.

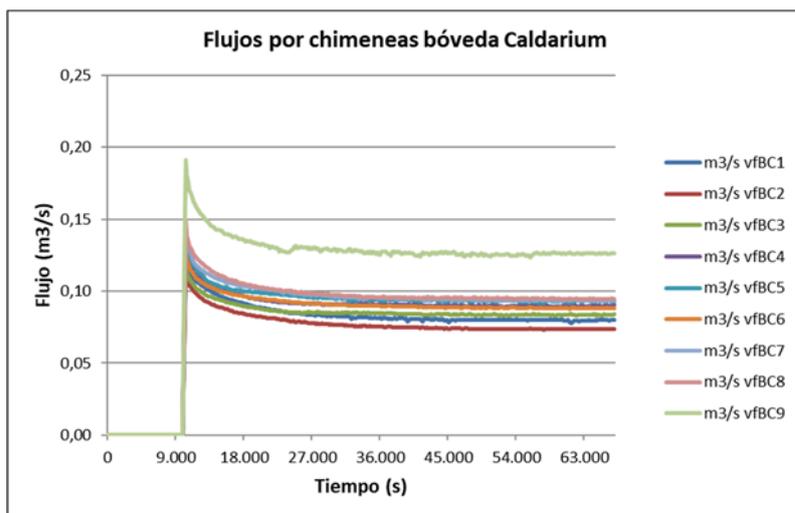


Tabla 26. Velocidad del flujo de aire en los sensores situados en los conductos de la bóveda del *caldarium*.

### Conclusiones

Las cargas térmicas no pueden ser ni tan altas, como el caso de la simulación Edeta207 (1.056 kW) ni tan bajas como el caso de la simulación Edeta209 (336 kW), ya que demuestran temperaturas no usuales para el uso de la instalación.

El protocolo de aperturas realizado todavía no está optimizado ya que en los primeros instantes no se alcanzan la homogeneidad deseada de temperaturas en la instalación.

La existencia de las 5 aberturas en la bóveda del *tepidarium* mejora la circulación del aire caliente de esta sala y le otorga una funcionalidad que en las simulaciones anteriores no tenía.

Respecto a la sala del *frigidarium* es necesario colocar un conducto para la circulación del aire caliente, ya que apenas varía la temperatura de la misma al no poder circular el aire por el *hypocaustum* correspondiente.

### Hipótesis 3. Simulación Edeta16

#### Objetivo

Determinar la importancia de colocar una conducción en la sala del *frigidarium* para que el *hypocaustum* de dicha sala sea funcional.

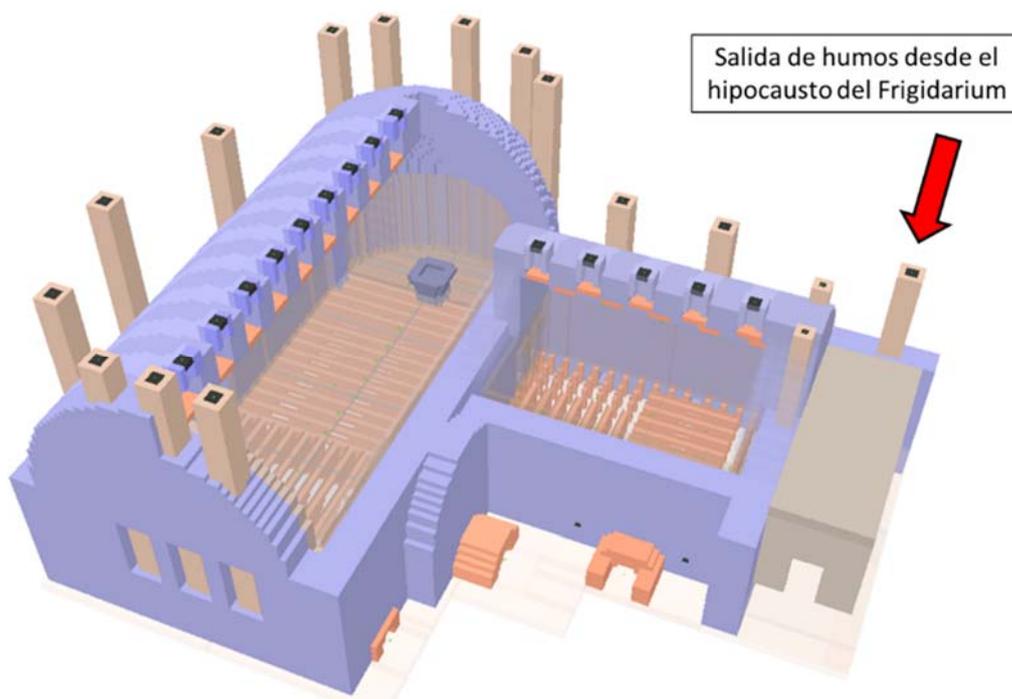


Ilustración 329. Modelo de la simulación Edeta16.

#### Discusión y resultados

Como hemos visto y concluido en la hipótesis anterior, la zona del pavimento de la sala de *frigidarium* que presenta un *hypocaustum*, prácticamente no varía de temperatura durante el funcionamiento de toda la simulación. Es difícil pensar que, si no se iba a tener en cuenta su funcionalidad, se dispusiera una *suspensura* sobre *pilae* ya que su mayor coste en la ejecución, su cambio en el tratamiento constructivo y su mantenimiento, harían pensar lo contrario. Por tanto, esta hipótesis se plantea para poder darle una funcionalidad a este espacio, que presenta un suelo calefactado aunque sea un ambiente con menor temperatura respecto al *tepidarium* y sobre todo al *caldarium*.

Se plantea la ubicación de un conducto en el centro del extremo más alejado del horno del *tepidarium* de forma que pueda generar la circulación necesaria para su calentamiento y aprovechamiento. Esta hipótesis no se encuentra corroborada por ninguno de los restos arqueológicos o arquitectónicos aparecidos y estudiados durante las diversas excavaciones, por lo que, en principio, se pueden extraer dos conclusiones directamente.

La primera puede basarse simplemente en un arrepentimiento constructivo abandonando la idea de acabar dicho espacio como una zona calefactada pero ya avanzada la construcción del *hypocaustum*. La segunda, es pensar que sí que tenía conducto, pero que, a día de hoy, no se ha encontrado la evidencia material que lo manifieste.

Para realizar la siguiente simulación (Edeta16) se decide colocar una carga térmica en los hornos que se sitúe entre los valores simulados en la hipótesis anterior, ya que las temperaturas son muy elevadas o bajas en cada una de las simulaciones consideradas (Edeta207 y Edeta209). Los datos de cada potencia en cada horno son los siguientes:

Características simulación Edeta16	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 27. Condiciones de la simulación Edeta16.

Se establece, además, un protocolo de aberturas de conductos, de forma que puedan facilitarse las circulaciones por el *hypocaustum*. En las primeras dos horas (7.200 segundos) se calienta la zona enfrentada a los hornos, de forma que el calor penetre perpendicularmente por el *hypocaustum* de manera bastante rápida calefactando dicho espacio. Las dos horas siguientes (14.400 segundos) se cierran estas chimeneas que enfrentan a los hornos y se abren las más distantes de los *hypocaustum* para que el calor se distribuya longitudinalmente hasta los puntos más distantes. Posteriormente, se abren las salidas superiores de bóvedas y muros para que el calor, ya extendido, ascienda por igual por todas las cámaras interiores, paredes y bóvedas. Durante todo el proceso se decide mantener la misma potencia de calor para observar cómo va aumentando la temperatura en las salas.

## Edeta16

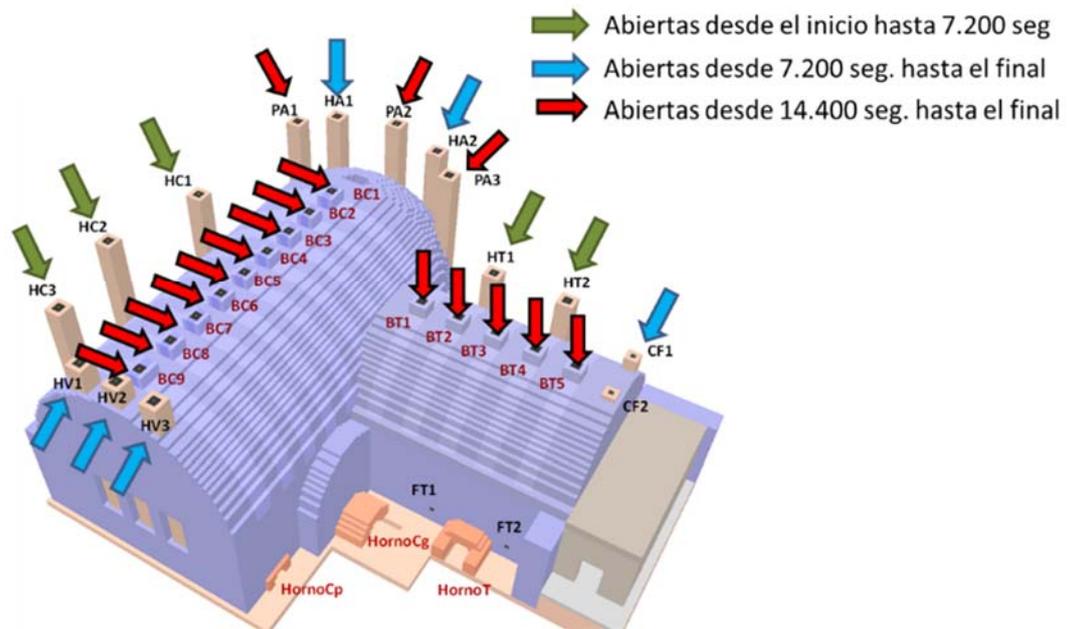


Ilustración 330. Esquema secuencial de la apertura y cierre de los conductos.

Los resultados obtenidos manifiestan que la instalación va consiguiendo uniformizar las temperaturas desde el inicio, consiguiendo una optimización del encendido y de la carga térmica de la misma.

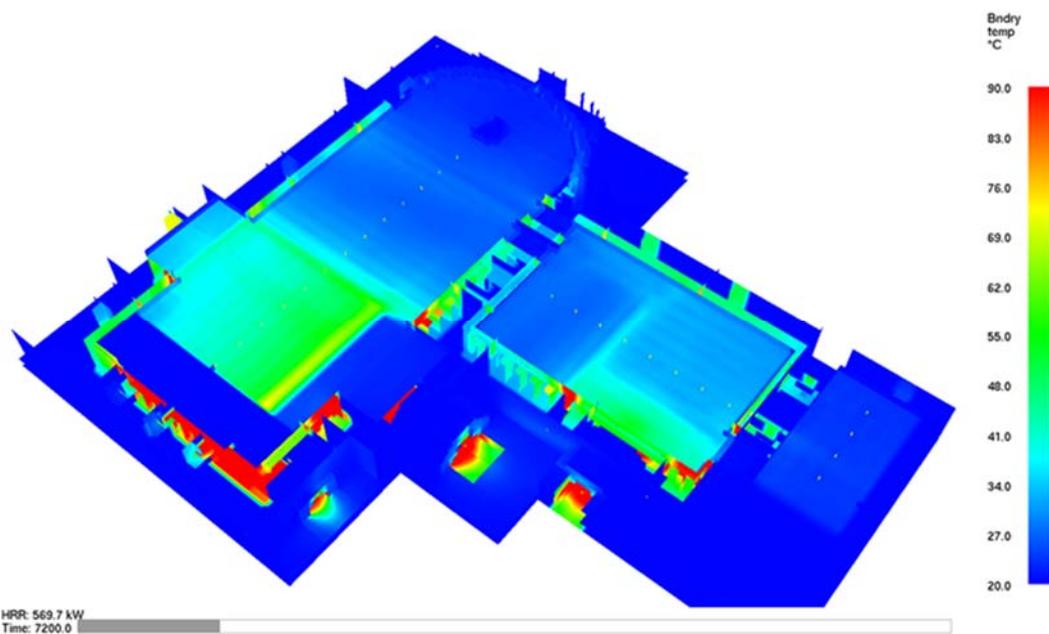


Ilustración 331. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las salas a los 7.200 segundos.

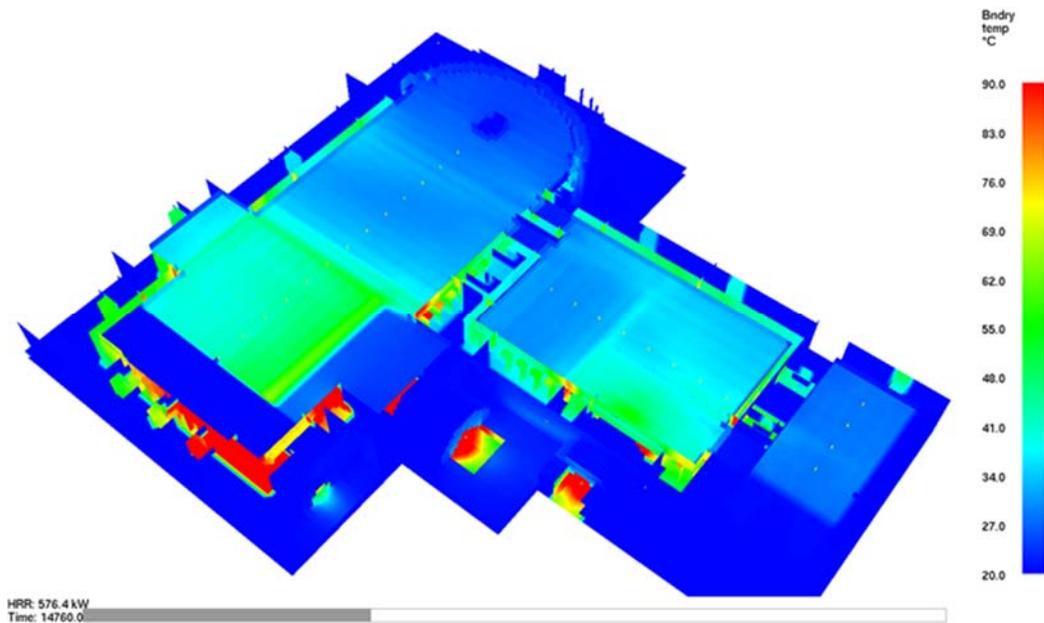


Ilustración 332. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las salas a los 14.760 segundos.

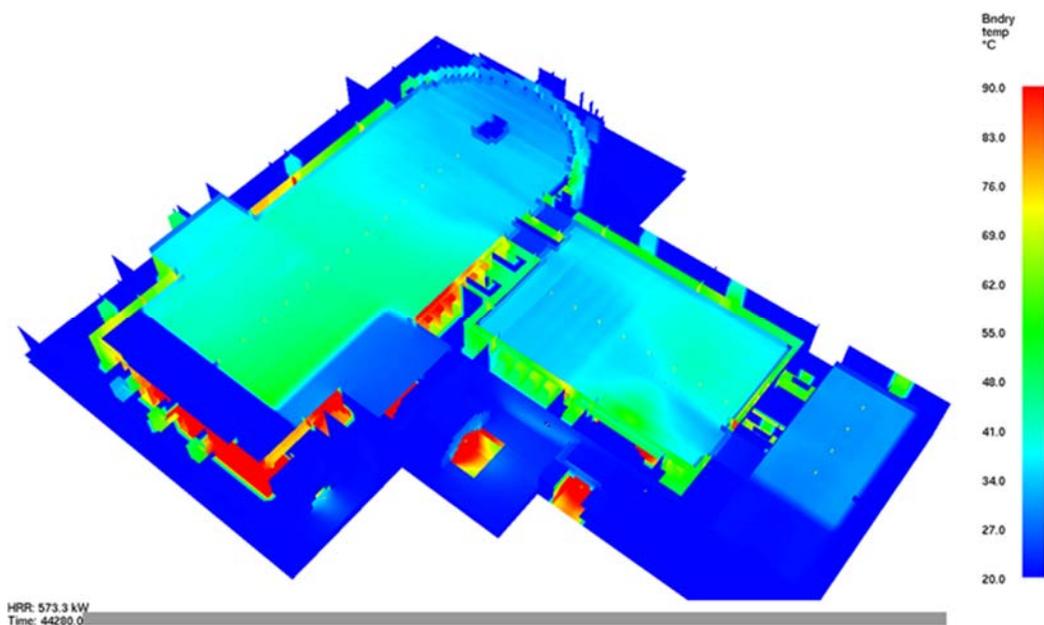


Ilustración 333. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las salas a los 44.280 segundos.

Los resultados obtenidos en cuanto al funcionamiento del *frigidarium* son más que evidentes, ya que nos permiten observar el flujo que circula a través de *hypocaustum* consiguiendo elevar la temperatura del mismo.

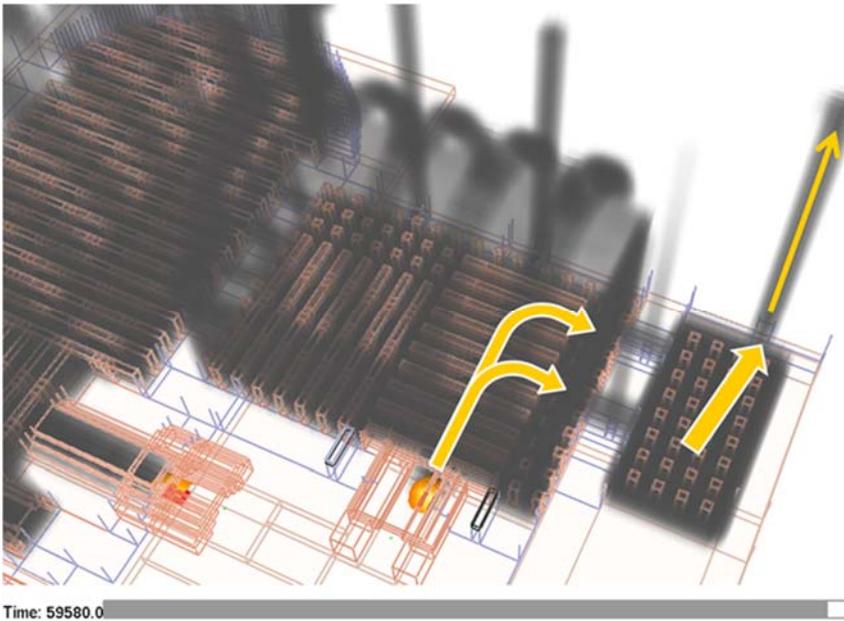


Ilustración 334. Esquema del flujo por el *hypocaustum* del *frigidarium*.

Las temperaturas medidas en los pavimentos de los puntos centrales de cada una de las bóvedas nos determinan una secuencia de temperaturas bastante escalonados y acordes con la funcionalidad de cada sala, hasta que se equilibran dichas temperaturas.

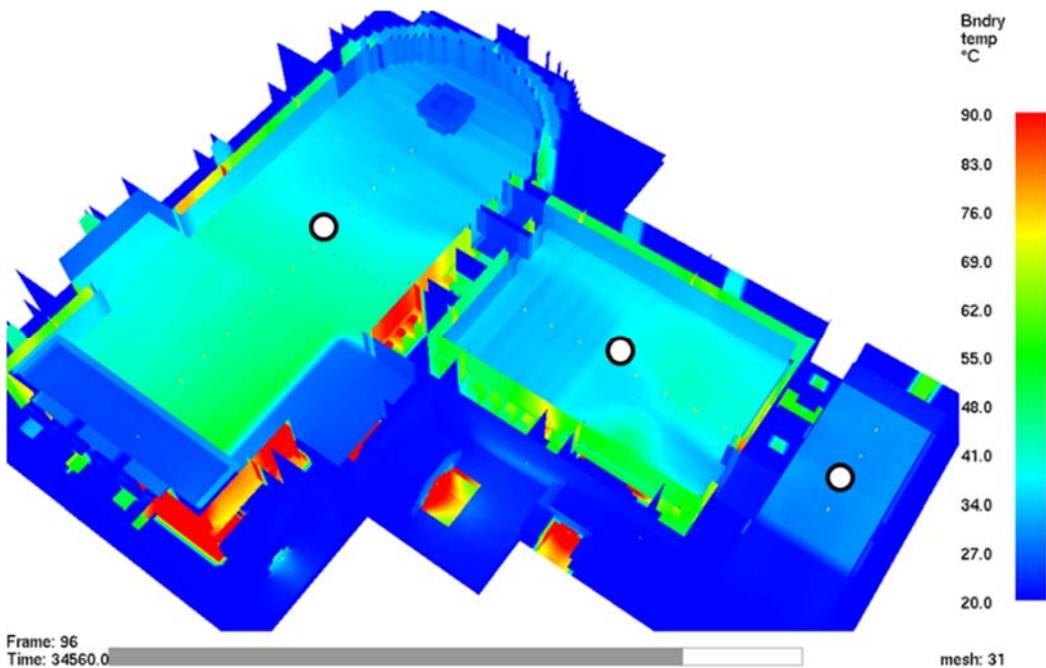


Ilustración 335. Situación de las temperaturas analizadas en el suelo de las salas.

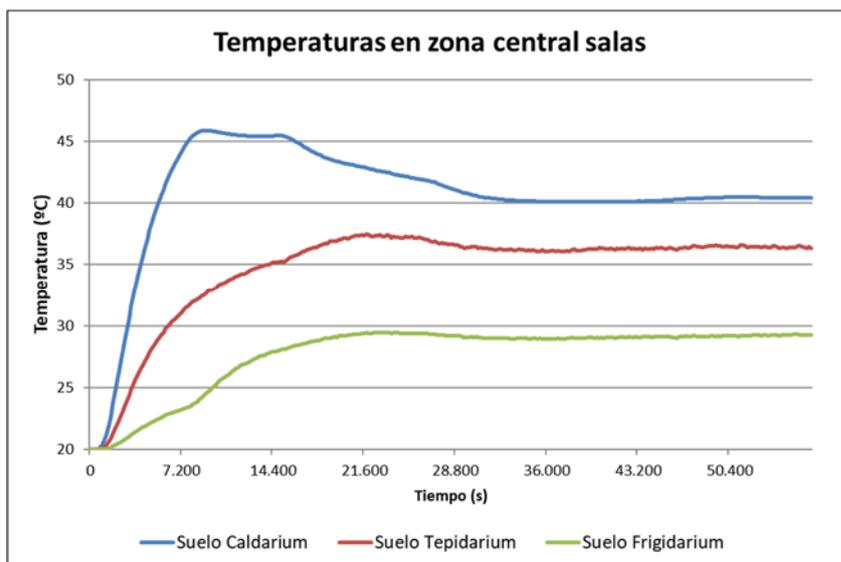


Tabla 28. Tabla de las temperaturas alcanzadas en los tres puntos señalizados en la ilustración anterior.

### Conclusiones

Las cargas térmicas son adecuadas a las temperaturas alcanzadas en cada una de las salas, de forma que se consigue un escalonamiento lógico en sentido creciente según la circulación de avance.

Se demuestra que con una chimenea situada en el fondo de la estancia del *frigidarium* que cuenta con *hypocaustum* propio se consigue aumentar 8 °C más que en la simulación que no lo tenía en consideración, de forma que es evidente que el *hypocaustum* del *frigidarium* sí que tenía una función, aunque *in situ* no existen evidencias arquitectónicas, ni en los estudios arqueológicos se han identificado restos de conductos exentos que pudiesen realizar esta función.

Se constata que al secuenciar la abertura de los conductos se consigue un mejor aprovechamiento de la eficiencia calorífica de la zona que se ha de calefactar.

## Hipótesis 4. Simulación Edeta200

### Objetivo

Estudio del comportamiento del complejo con todas las conducciones abiertas excepto la del ábside que, como se ha podido comprobar en la hipótesis 1, tiene que estar cerrada. Se procede a la simulación (Edeta200) con un tiempo total de encendido máximo (16 horas) y una potencia calorífica de 560 kW.

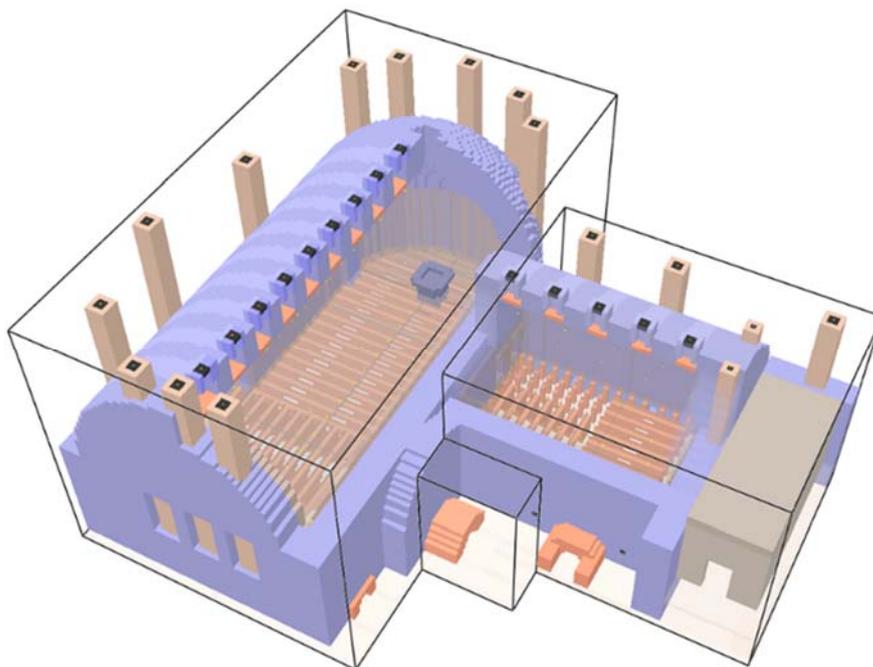


Ilustración 336. Modelo sobre el que se realiza la simulación Edeta200.

### Discusión y resultados

Para esta hipótesis se decide abrir todos los conductos de ventilación y colocar una potencia calorífica de 560 kW en total (determinada como óptima en la hipótesis anterior). Se considera para esta hipótesis el cerrar el conducto del *frigidarium* al no tener una evidencia real de su existencia, determinando su comportamiento con todos los conductos abiertos.

Características simulación 200	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 29. Condiciones de la simulación Edeta200

En la simulación realizada (Edeta200), tras 12 horas y 45 minutos (45.900 segundos) de puesta en marcha, se observa que la distribución de temperaturas en el suelo del *caldarium* y del *tepidarium* no son homogéneas, existiendo unas diferencias de temperaturas de hasta 17 °C, con zonas a 43 °C y otras a 26 °C.

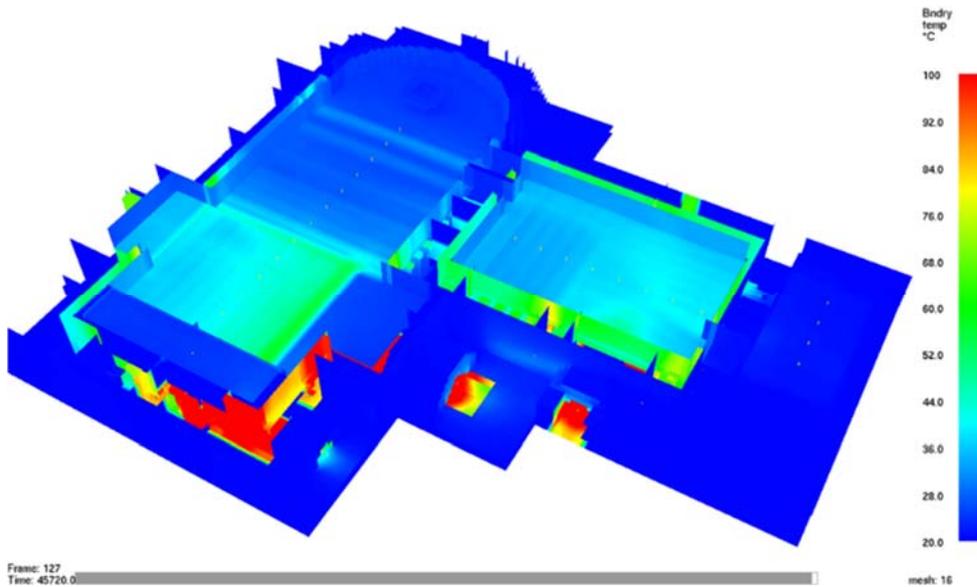


Ilustración 337. Temperaturas en el suelo de las salas al final del procesado de la simulación.

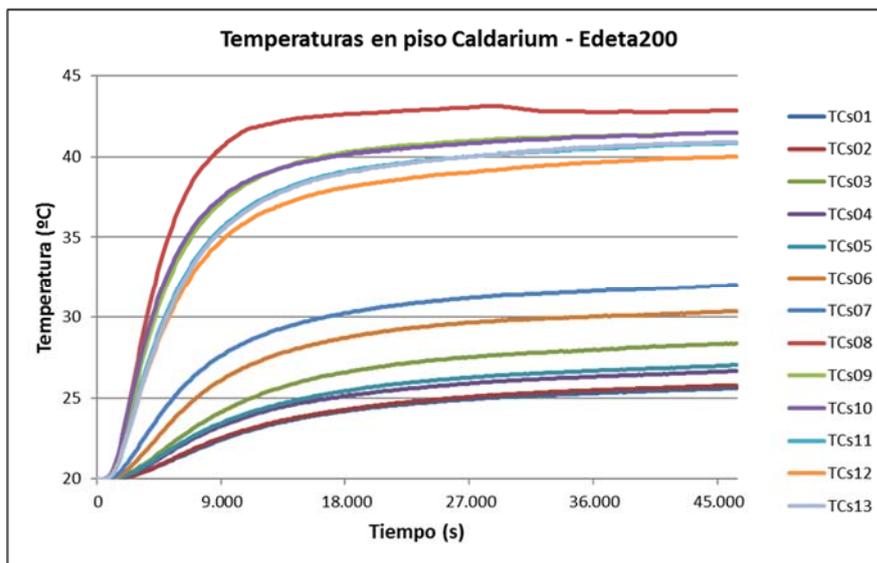


Tabla 30. Gráfico de los sensores de temperatura situados sobre el suelo de la sala del *caldarium*.

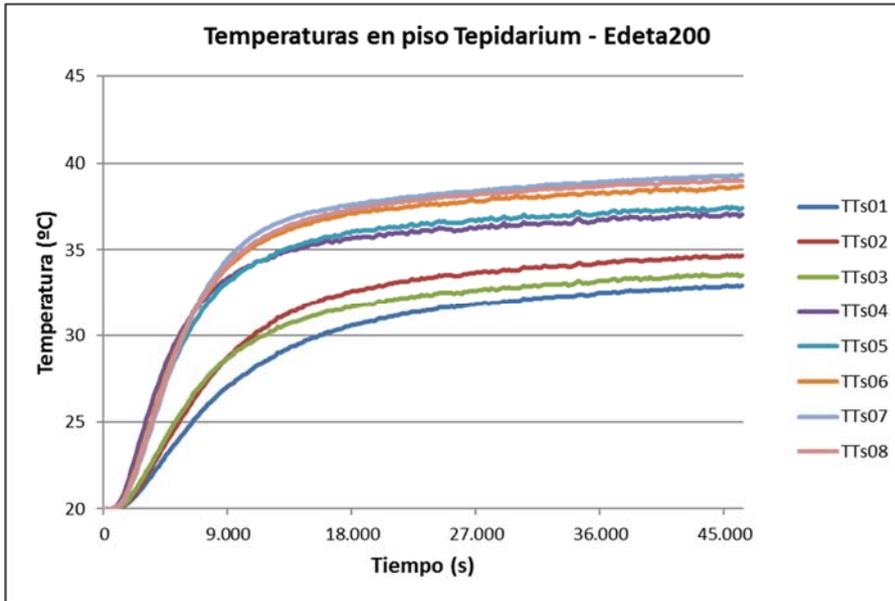


Tabla 31. Gráfico de los sensores de temperatura situados sobre el suelo de la sala del *tepidarium*.

También se puede observar que el suelo del *frigidarium* se encuentra a la misma temperatura prácticamente, sin recibir ningún aporte de calor directo del *hypocaustum* ya que en esta simulación se decidió dejar cerrado dicho conducto para comprobar con mayor realidad lo que podía suceder.

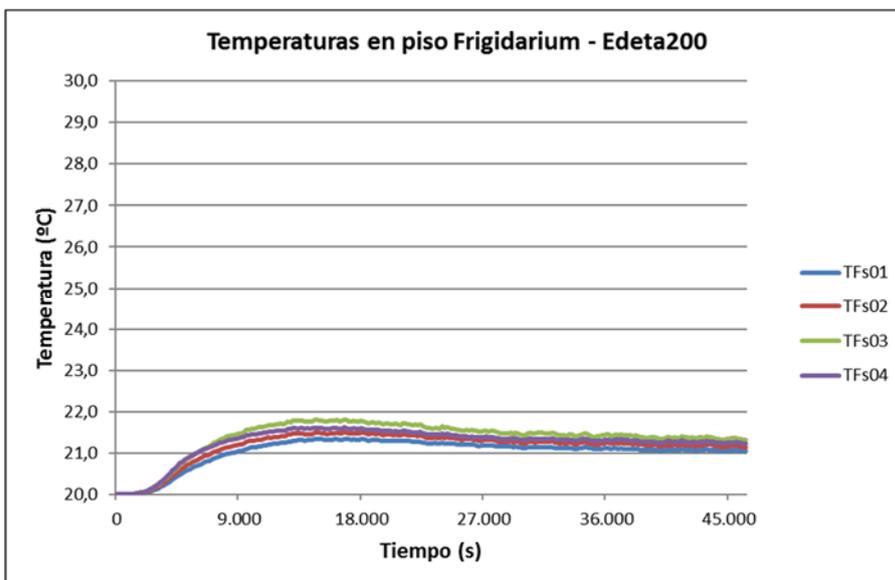
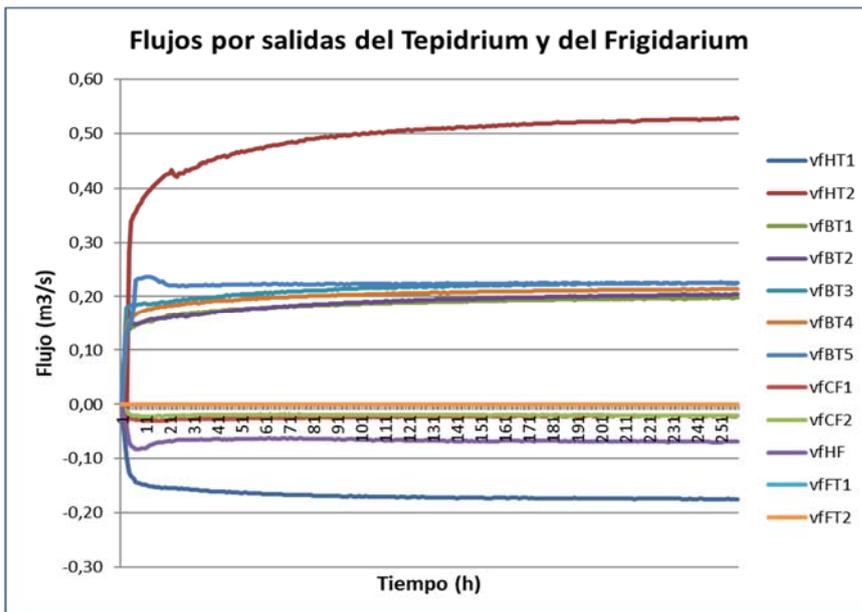
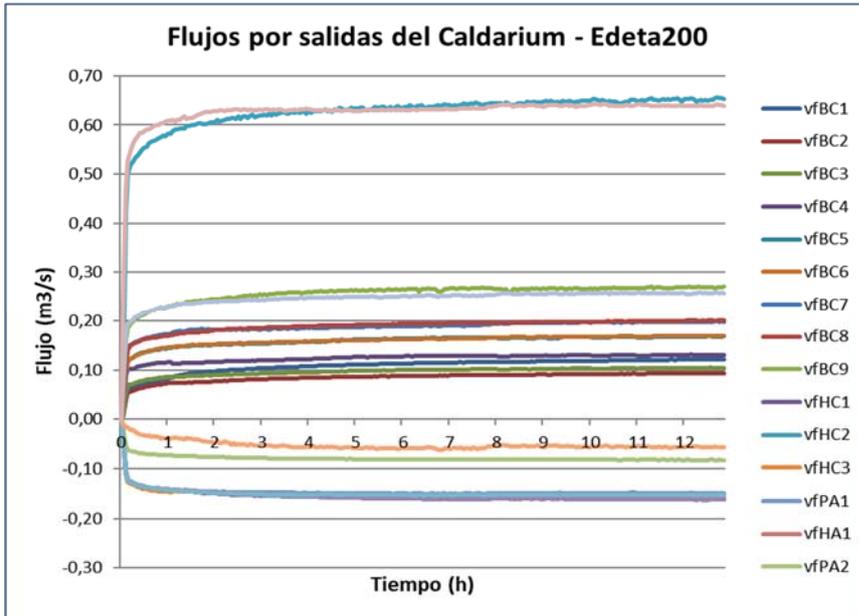


Tabla 32. Gráfico de los sensores de temperatura situados sobre el suelo de la sala del *frigidarium*.

En cuanto a los flujos de aire caliente, los mayores caudales salen por las chimeneas que tienen justo enfrente del horno. En el caso de los hornos del *caldarium* por las chimeneas HC2 y HV3 y en el caso del *tepidarium* por la chimenea HT2. Además, se puede observar en las gráficas de flujos que en las chimeneas más alejadas de los hornos se produce la entrada de aire hacia la zona del *hypocaustum*, en vez de ser un conducto de salida, con lo que causaría un enfriamiento considerable del aire recién calefactado, provocando, primero una mala circulación y segundo un enfriamiento del aire al mezclarse con el caliente.



Tablas 33 y 34. Gráficas correspondientes a los flujos medidos en las salidas de todos los conductos.

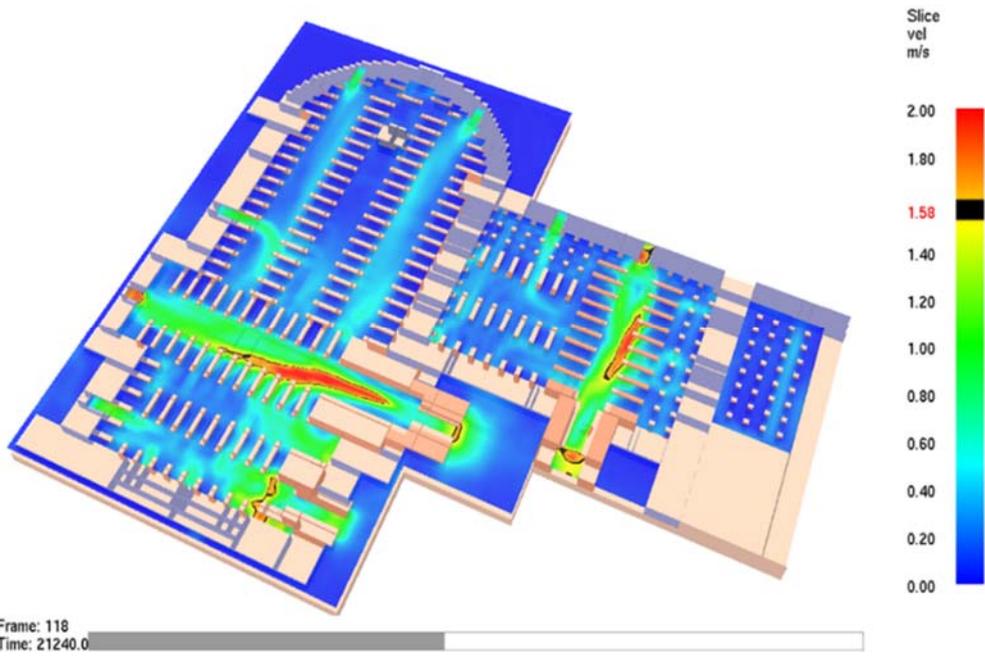


Ilustración 338. Flujos dentro del *hypocaustum* a mitad del procesado de la simulación.

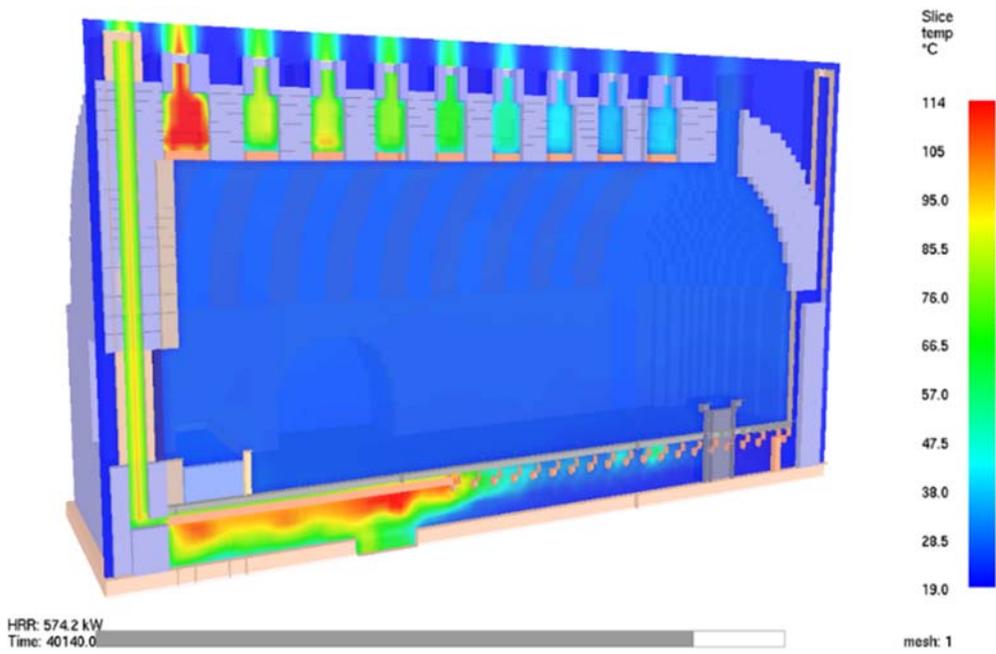


Ilustración 339. Flujos en los conductos de ventilación de la bóveda del *caldarium*.

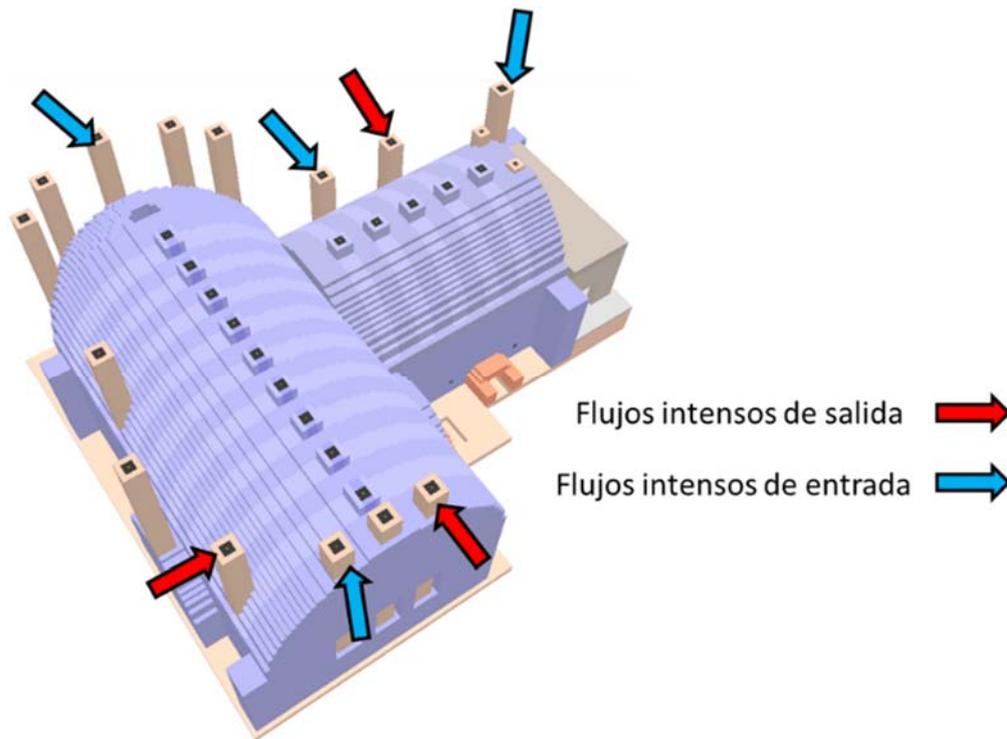


Ilustración 340. Esquema que indica la entrada y salida de aire por los conductos.

### Conclusión

Tras la simulación de encendido de los tres hornos y proceder a la abertura de todas las salidas, excepto las del ábside, no se consigue el objetivo de calentar de forma homogénea las termas.

Con la salida de la mayoría de los flujos calientes por las chimeneas más cercanas se demuestra que la instalación no está siendo energéticamente eficiente ya que mucho aire caliente sale directamente al exterior y no consigue transmitir su calor al edificio. Además, se ha comprobado la entrada de aire frío del exterior provocando un enfriamiento del aire calefactado, con lo que no se consigue el calentamiento óptimo de las salas.

Por lo tanto, se ha demostrado que sin secuencia de apertura la instalación no cumple su función y además las pérdidas de energía son muy grandes.

## Hipótesis 5. Simulación Edeta203

### Objetivo

El objetivo es comprobar las temperaturas y flujos en las tres salas contando únicamente con las aberturas de las chimeneas que calientan las paredes en todo el edificio a través de la *concameratio*. En la simulación Edeta203 se dejan abiertas desde el principio las chimeneas de las bóvedas del *caldarium* y del *tepidarium*, cerrando todas las demás, excepto los conductos que proceden directamente desde las paredes interiores del ábside del *caldarium* (PA1, PA2, PA3) y las del extremo *frigidarium* (HF).

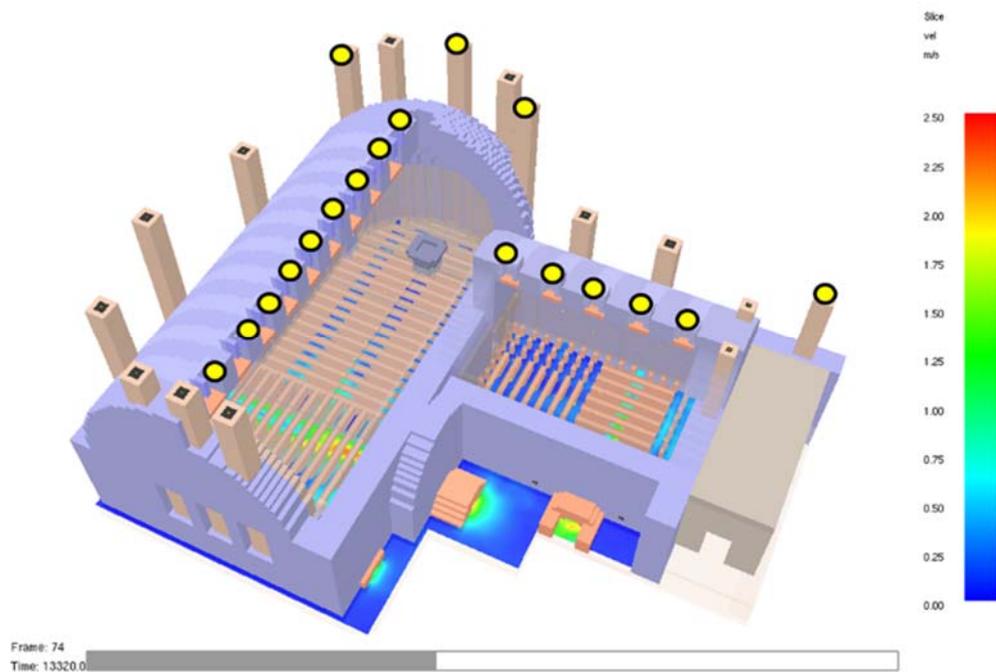


Ilustración 341. Conductos abiertos desde el inicio de la simulación hasta el final.

### Discusión y resultados

Esta simulación va a utilizar una potencia total emitida por todos los hornos de 1.000 kW/m<sup>2</sup>, lo que significan unas tasas de calor emitidas de 560 W.

Características simulación 203	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 35. Condiciones de la simulación Edeta203.

Tras la simulación de 8 horas de encendido, se puede observar que las temperaturas no son homogéneas en todos los puntos donde se han colocado sensores.

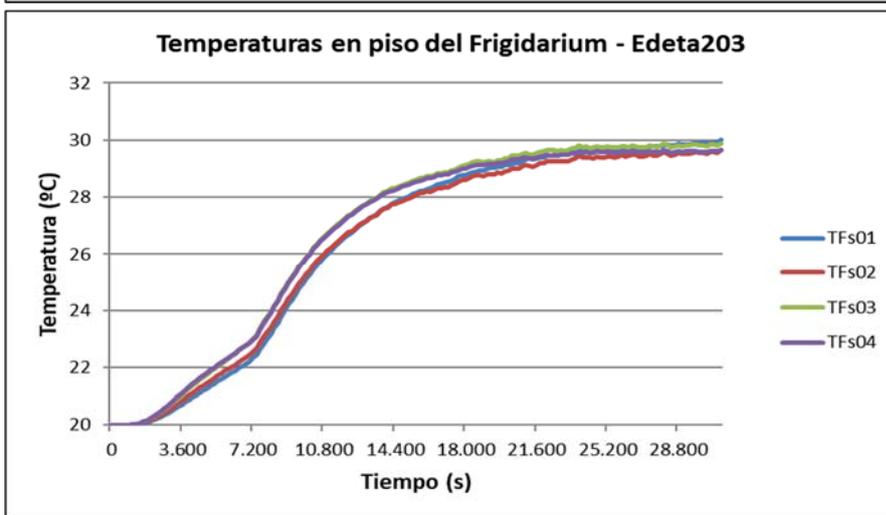
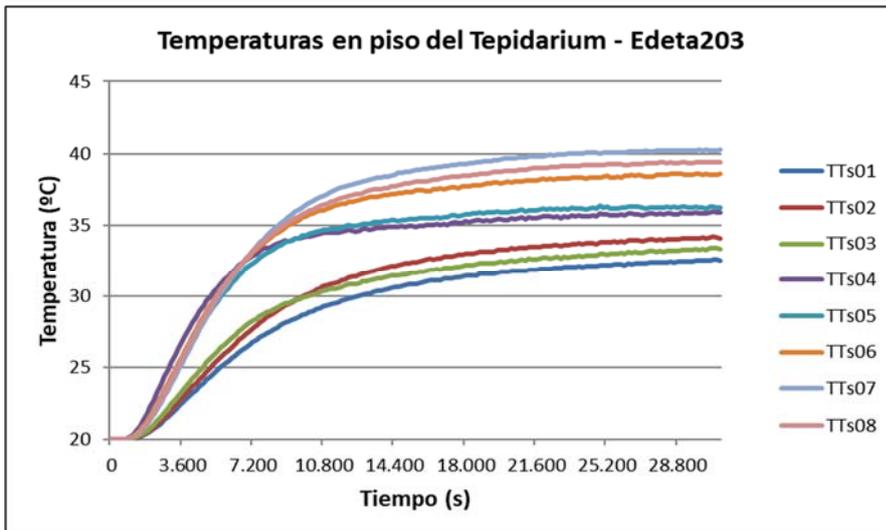
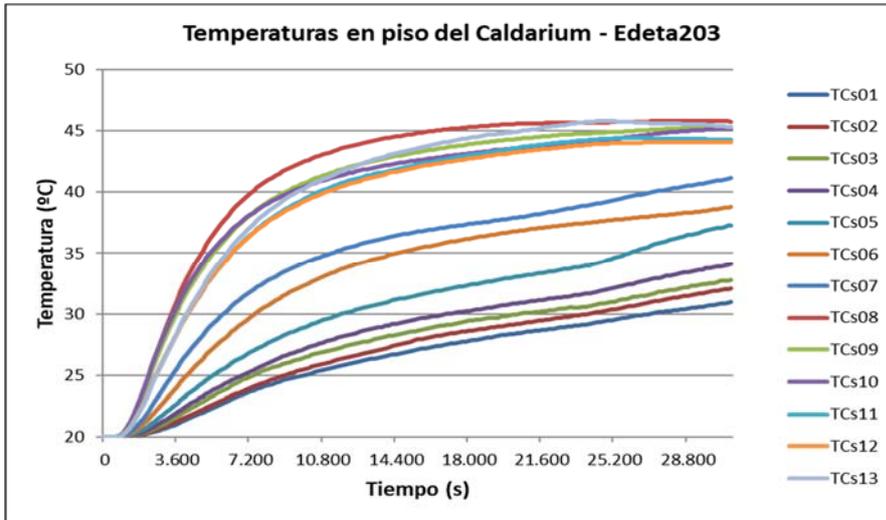


Tabla 36, 37 y 38. Gráficos correspondientes a las temperaturas en el suelo de las distintas salas.

Se puede observar que las temperaturas se estabilizan al alcanzar los 45 °C en la zona más cercana a los hornos mientras que se encuentra a unos 20 °C en la zona del ábside, siendo poco eficiente ya que no unifica la temperatura tras ocho horas de funcionamiento.

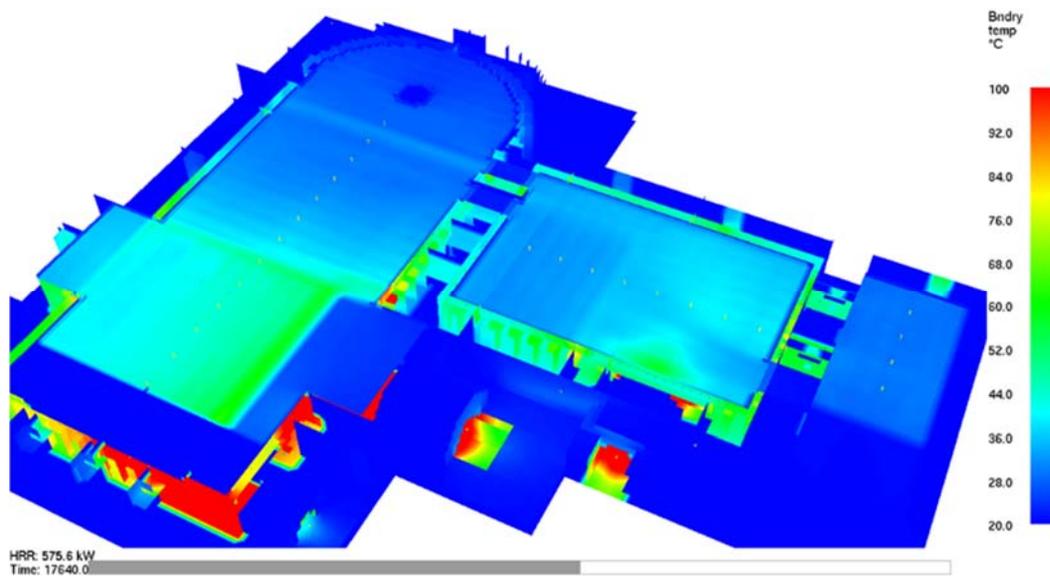


Ilustración 342. Distribución de la temperatura en el suelo de las distintas salas.

Los flujos de aire caliente son muy diferentes según la situación de la cercanía al horno. Por ejemplo, tenemos la salida BC9 que es la más cercana al horno pequeño (Cp) con un caudal de aire prácticamente el doble que la media de los otros, confirmado el resultado obtenido de temperaturas y determinando que la circulación de aire no es eficiente.

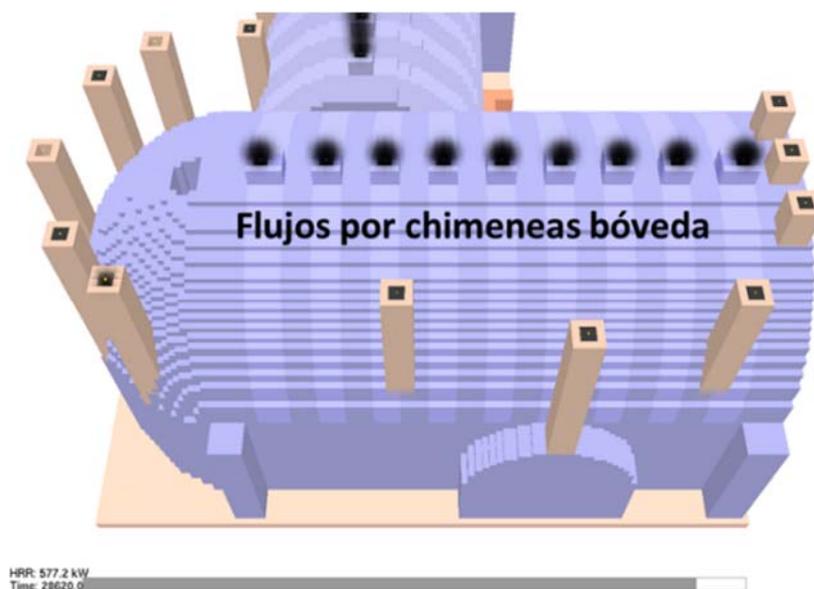


Ilustración 343. Salida de los flujos por las canalizaciones del *caldarium*.

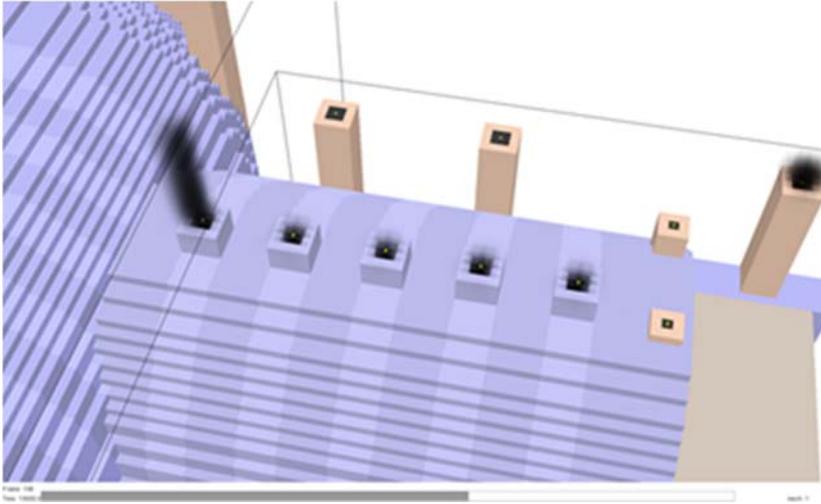


Ilustración 344. Salida de los flujos por las canalizaciones del *tepidarium* y *frigidarium*.

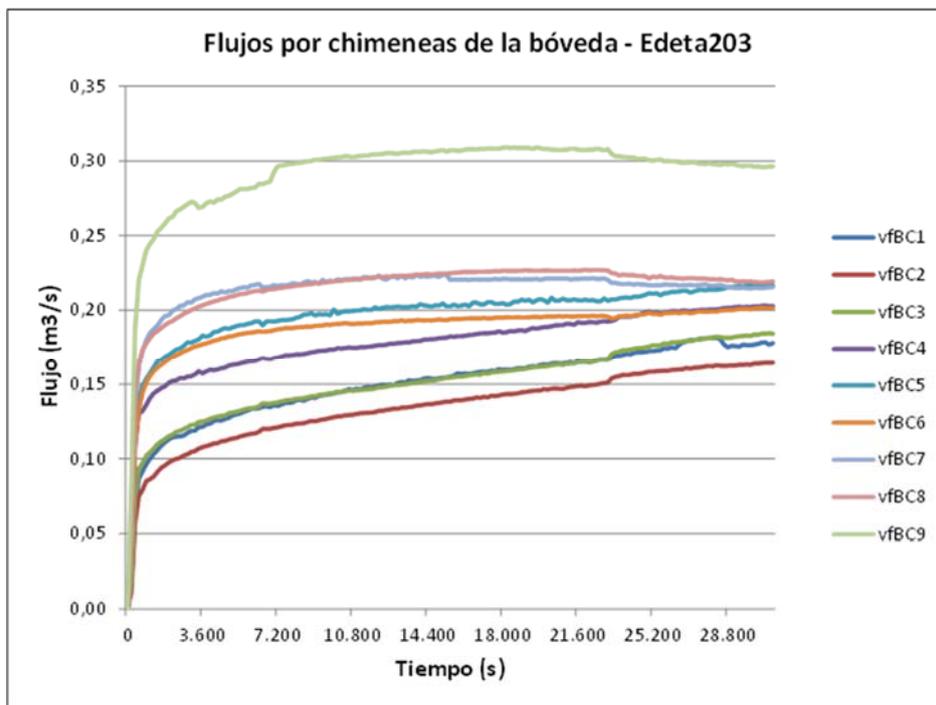


Tabla 39. Gráfico donde se indican los flujos por los conductos de la bóveda del *caldarium*.

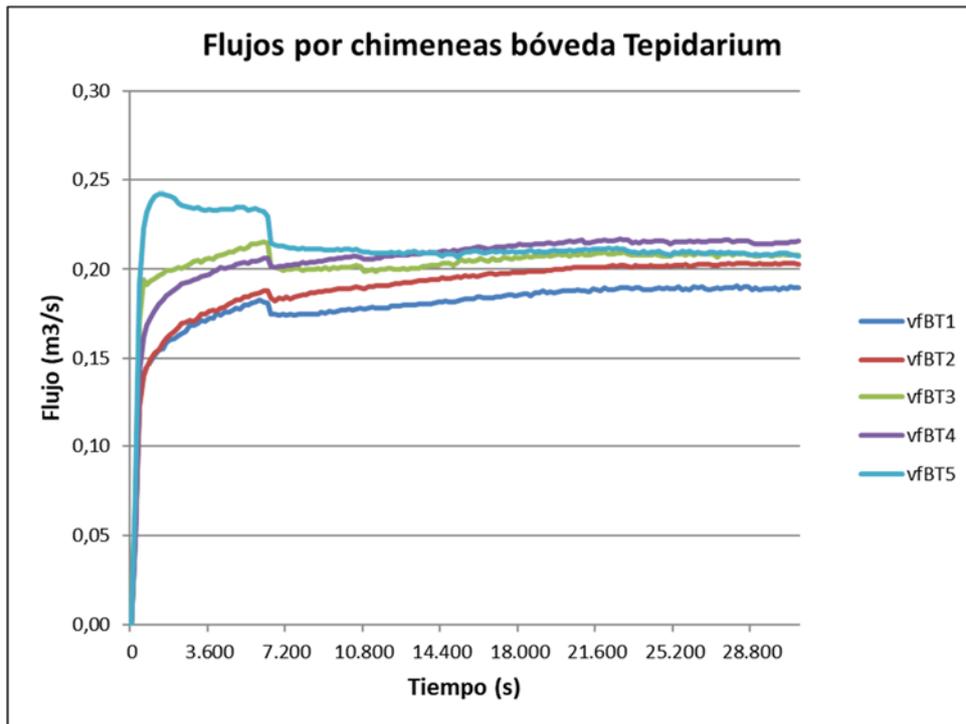


Tabla 40. Gráfico donde se indican los flujos por los conductos de la bóveda del *tepidarium*.

### Conclusiones

Tras la simulación, podemos concluir que la abertura de conductos que comunican el *hypocaustum* por la *concameratio* no es la más eficiente y óptima de las que puede ofrecer el complejo debido a la diferencia de temperaturas que se registran en el pavimento, aunque sí que se alcanza una temperatura bastante aproximada a la real.

## Hipótesis 6. Simulación Edeta201 y Edeta202

### Objetivo

En esta hipótesis se va a secuenciar la abertura y cierre de las chimeneas de forma que se encuentre la forma más eficiente de encendido para el complejo. En esta hipótesis se emplearán dos simulaciones. En la primera (Edeta201) se comprobará la abertura y cierre de determinados conductos con una potencia de calor y un tiempo determinado. En la segunda simulación tan sólo se cambiará el valor de potencia de carga térmica para poder comprobar su comportamiento y estudiar las variaciones con las simulaciones e hipótesis ya realizadas.

### Discusión y resultados

Las dos simulaciones van a tener el mismo protocolo de aperturas, pero en la primera se define una potencia total emitida por todos los hornos de 500 kW/m<sup>2</sup>, y en la segunda de 1.000 kW/m<sup>2</sup>, lo que significa unas tasas de calor emitidas de 280 W y de 560 W respectivamente.

Características simulación Edeta201	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	120 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	80 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	80 kw
Potencia máxima total	280 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Características simulación Edeta202	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	180 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	180 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 41. Condiciones de las simulaciones Edeta201 y Edea202.

Para determinar las aperturas y cierres se estipula 3 fases de control que varían en el tiempo y en las que se pretende, de una forma lógica, alcanzar la máxima eficiencia térmica del complejo, pensando en un mejor aprovechamiento de su circulación para la calefacción de las salas con un menor consumo. Las fases en las que varían las condiciones son los siguientes:

- (1) En el inicio del encendido, se abren las chimeneas que tienen un menor recorrido desde los hornos (HC3, HC2 y HT2) para proceder a un calentamiento rápido del

espacio del *hypocaustum* por donde circulan dando profundidad a los gases de entrada. Esta situación se mantiene durante las dos primeras horas.

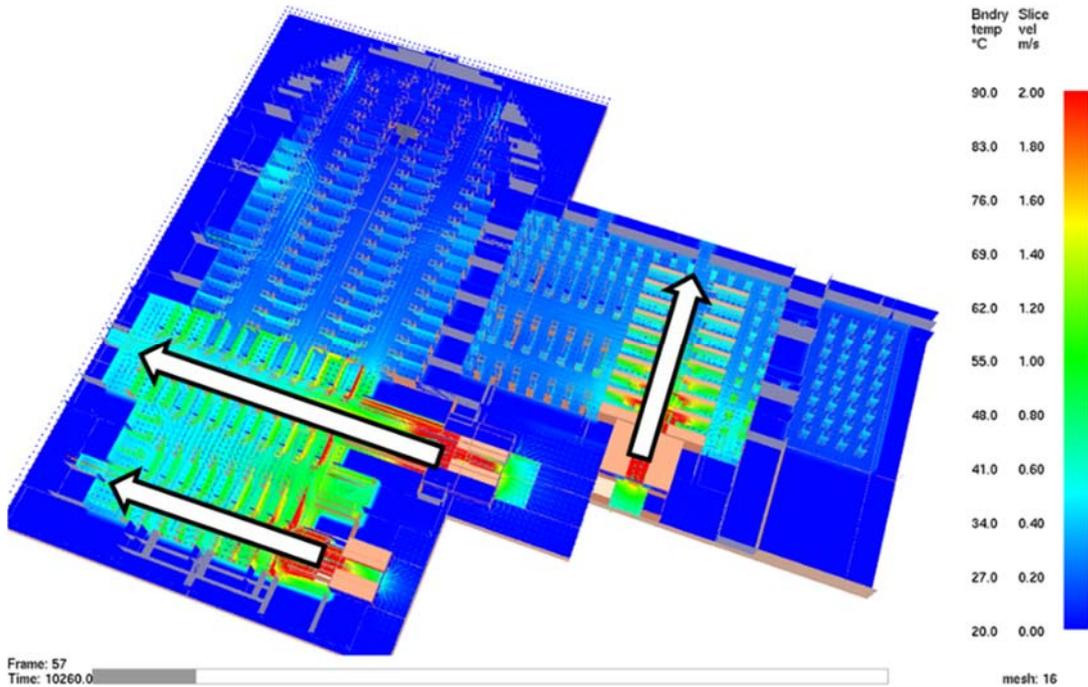


Ilustración 345. Esquema por el *hypocaustum* de la secuencia primera de flujos y temperaturas.

- (2) Tras las primeras dos horas se cierran los conductos abiertos anteriormente y se abren los que están más lejanos y que comunican directamente con el *hypocaustum* (HF, CF1, CF2, HT1, HA1, HA2, HC1, HV1, HV2, HV3).

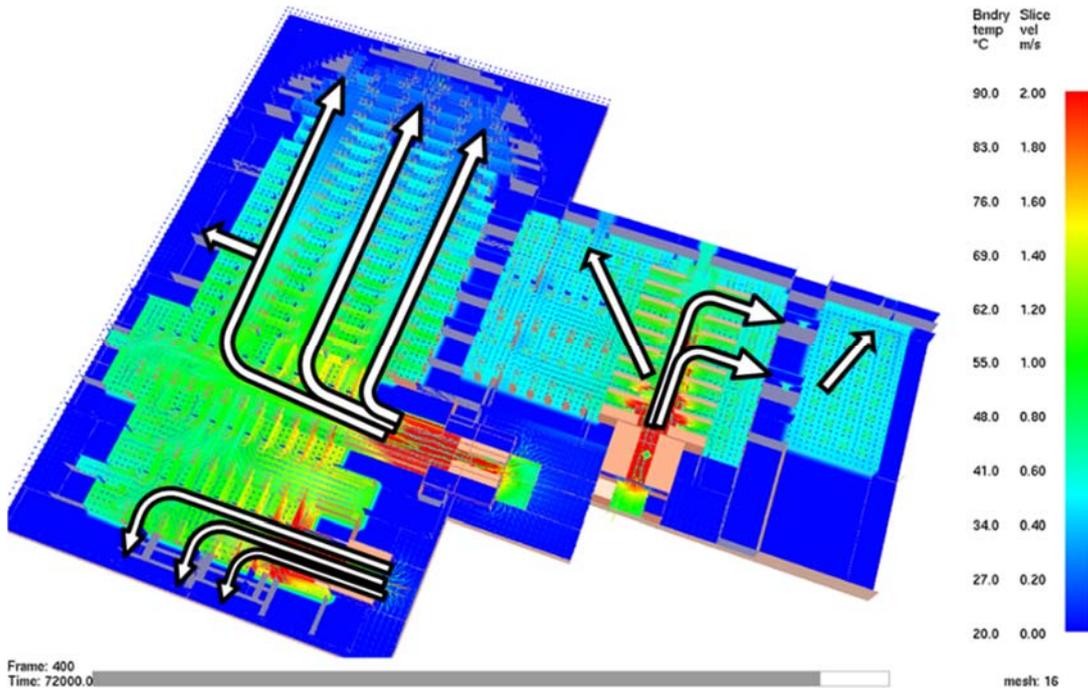


Ilustración 346. Esquema por el *hypocaustum* de la secuencia segunda de flujos y temperaturas.

- (3) Tras dos horas más de funcionamiento se abren los conductos de las bóvedas tanto del *caldarium* (BC1...BC9) como del *tepidarium* (BT1...BT5) y se cierran los conductos más cercanos al horno pequeño (HV1, HV2, HV3), de forma que toda la instalación consigue aprovechar el aire caliente que se está generando.

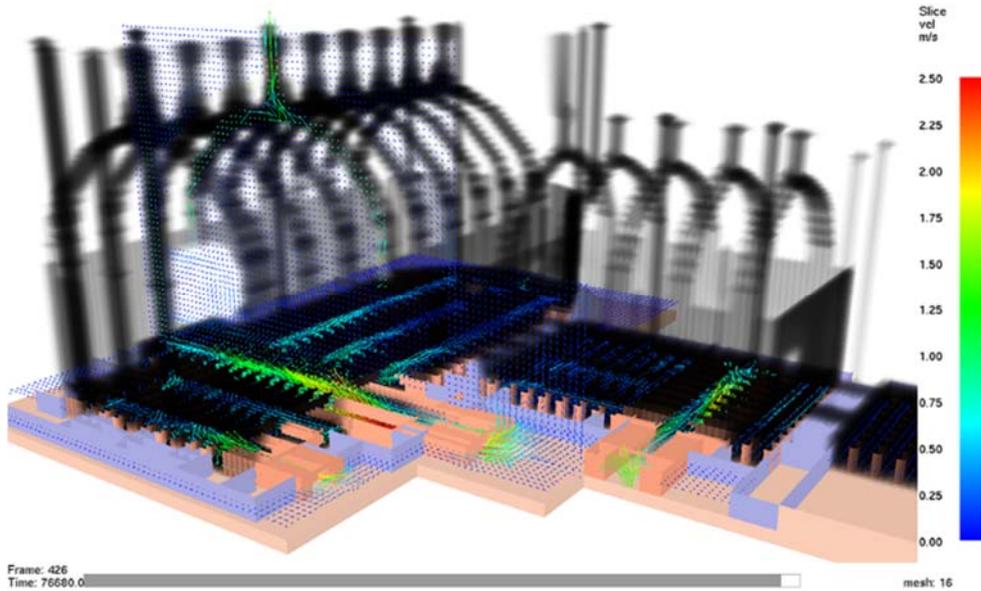


Ilustración 347. Esquema de flujos por los conductos al final del procesado de la simulación.

Las secuencias de todo el proceso se reproducen en las siguientes imágenes tomadas después de la apertura y cierre de cada conducto.

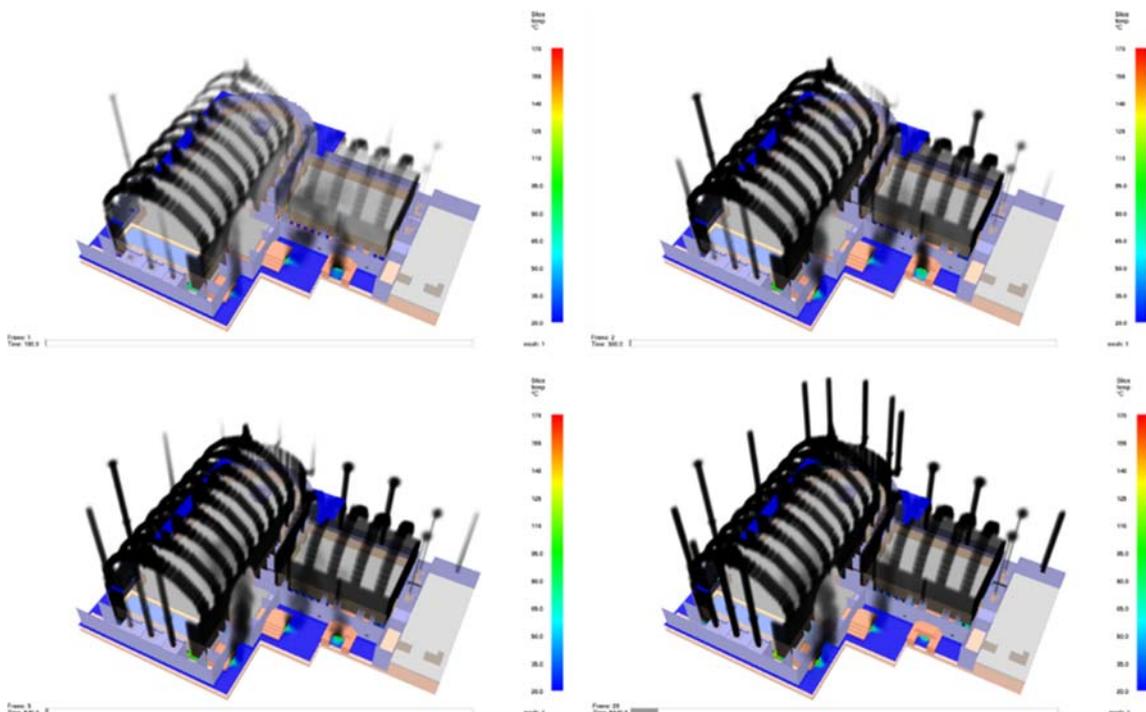


Ilustración 348. Secuencias del flujo en el inicio de la simulación.

Los resultados de las temperaturas son bastante uniformes (7 °C de diferencia en los sensores situados en el pavimento) cuando se alcanza el final de la simulación, sobre todo si se comparan con la simulación anterior (Edeta200) en la que no existía ningún protocolo de apertura y la diferencia era de 16,4 °C. La particularidad en esta simulación es la baja temperatura alcanzada en comparación con las anteriores simulaciones, 36 °C como máximo. Por tal motivo se decide realizar otra simulación con el doble de potencia en el horno para comprobar el comportamiento y la temperatura final.

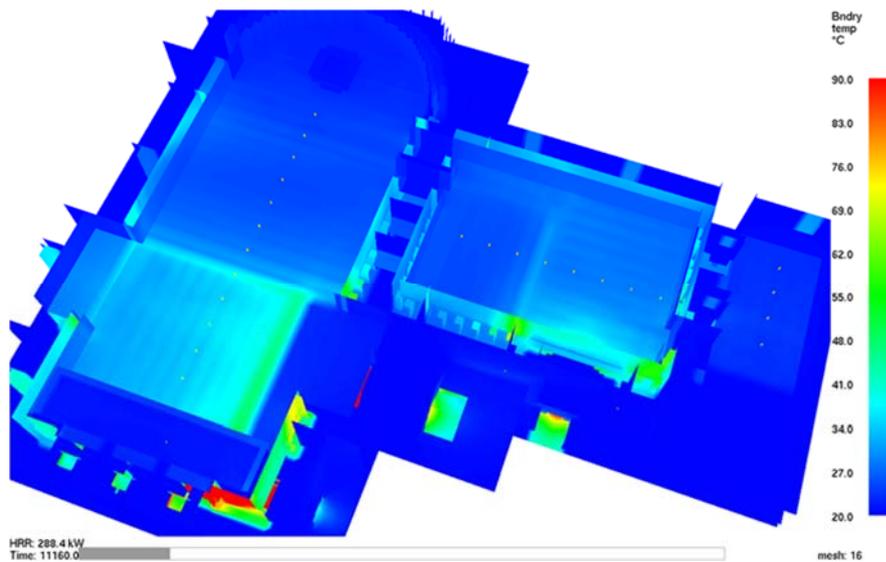


Ilustración 349. Temperaturas en el suelo de las salas durante el inicio de la simulación.

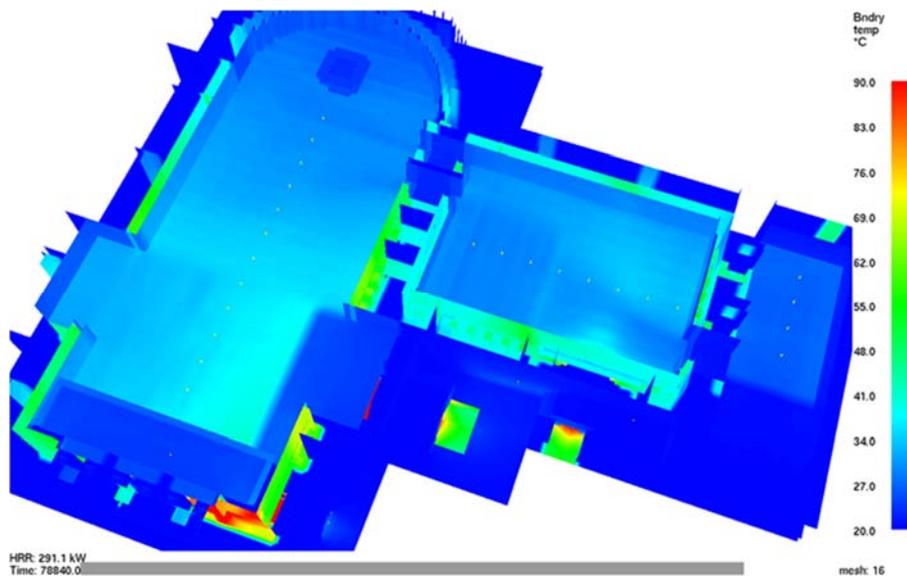
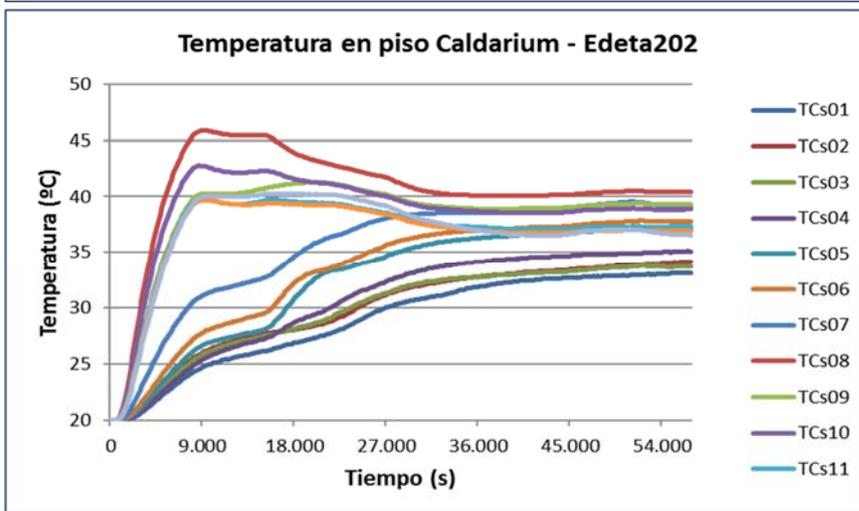
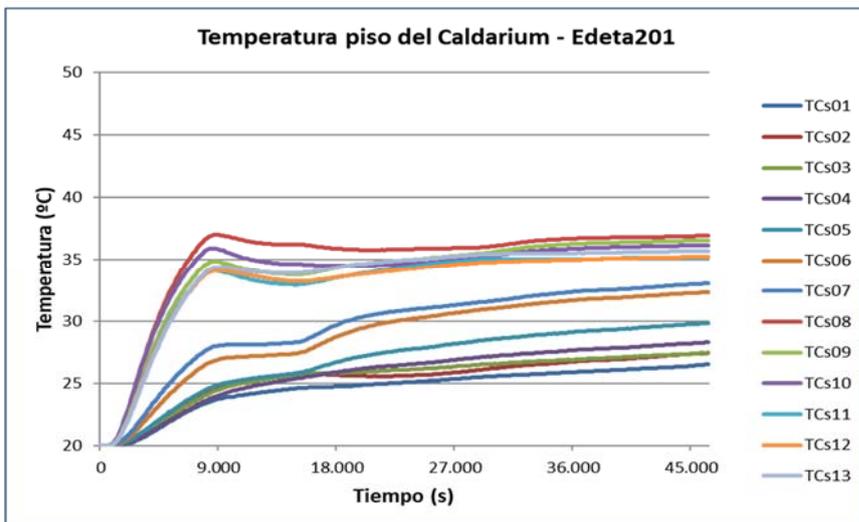
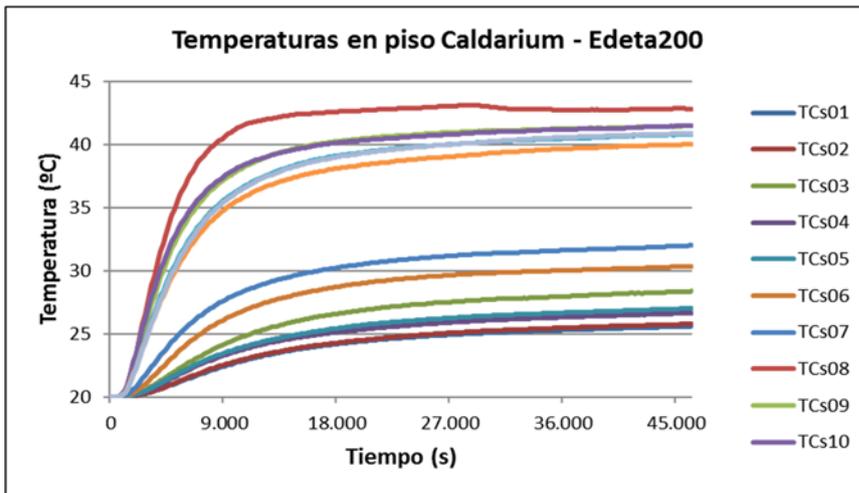


Ilustración 350. Temperaturas en el suelo de las salas al final de la simulación.

Tras realizar la segunda simulación (Edeta202) de esta hipótesis se alcanzan unas temperaturas bastante homogéneas en todas las estancias y en un periodo de tiempo menor.



Tablas 42, 43 y 44. Gráficos correspondientes a los sensores de temperaturas del suelo del *tepidarium* en cada una de las tres simulaciones.

En las gráficas de temperatura se puede observar las diferencias entre las tres simulaciones estableciendo unas conclusiones determinantes en la temperatura máxima alcanzada y en el tiempo en el que se alcanzan.

En cuanto al flujo de aire caliente también se pueden determinar unos resultados que aportan conclusiones por el caudal que se reparte en cada conducto, concentrándose de forma más uniforme y repartiendo mejor el calor por las estructuras internas del *caldarium* en la última de las simulaciones.

El protocolo manifiesta que una vez los gases calientes llegan a todas las partes del *hypocaustum* se cierran sus salidas abriendo las de las partes altas de paredes y bóvedas, de forma que los gases circulan ya por el interior de los tabiques y transmiten parte de su calor hacia el interior.

Se constata con esta secuencia el mejor rendimiento energético procurando que los gases tengan recorridos amplios por los espacios y cedan a los cerramientos el máximo de calor posible.

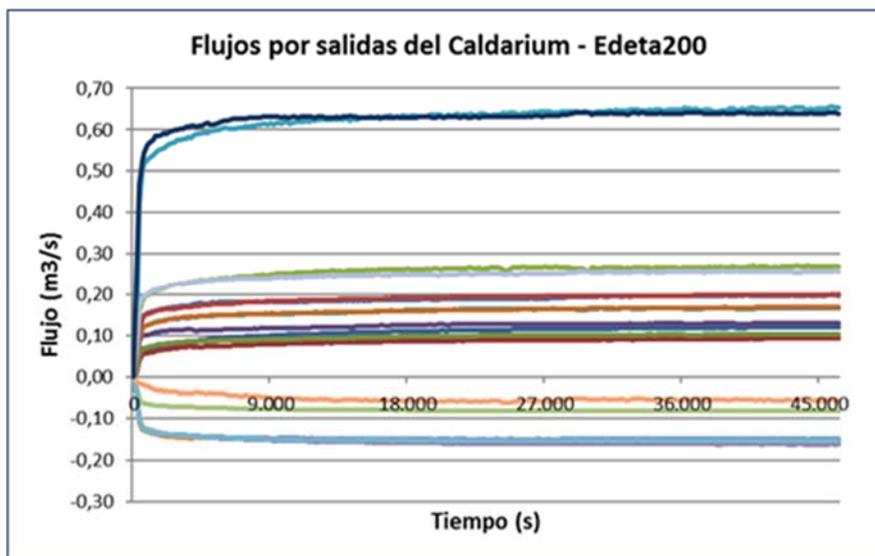
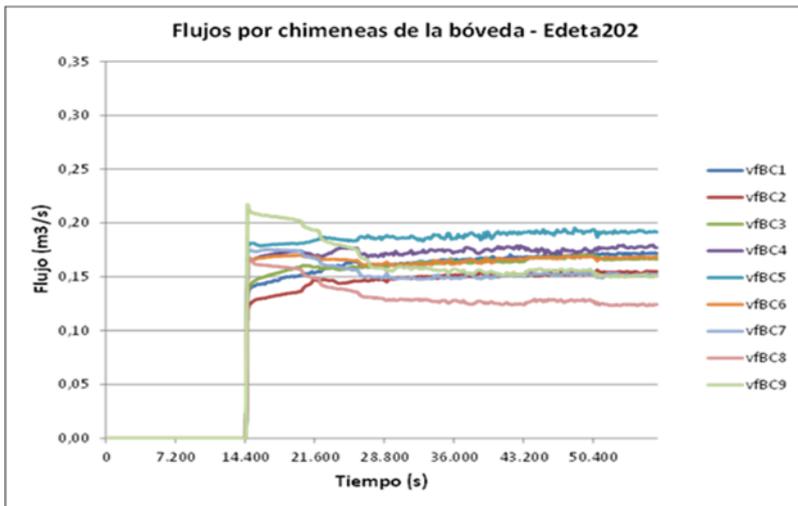
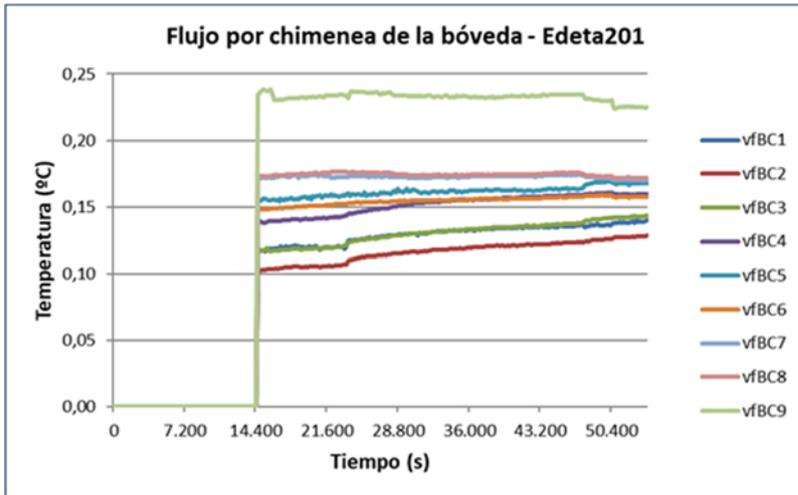


Tabla 45. Gráfico de flujos por las salidas del *caldarium* en la simulación Edeta200.



Tablas 46 y 47. Gráficos de flujo por las conducciones de la bóveda del *caldarium* según la simulación Edeta201 y Edeta202.

### Conclusiones

Las 30 salidas de humos han demostrado tener una utilidad a la hora de controlar las temperaturas en la fase de encendido.

Se ha encontrado una secuencia de apertura que consigue una uniformidad adecuada de las temperaturas en el piso y en las paredes de las tres salas, *caldarium*, *tepidarium* y *frigidarium*. En términos generales, se puede concluir que las salidas en los extremos con un mayor recorrido desde el horno, se han de abrir al inicio del encendido y siempre después de haber abierto los conductos directos de forma ordenada para calentar hasta el extremo de esta sala, de forma que los flujos se fuercen por convección por el interior de todas las chimeneas.

Por tanto, se puede manifestar que la simulación Edeta202 puede ser un valor de referencia para determinar una funcionalidad óptima con respecto a tener un protocolo de aperturas y cierre de conductos de ventilación.

## Hipótesis 7. Simulaciones Edeta202d y Edeta202e3

### Objetivo

Estudiar el comportamiento de la instalación dependiendo de que tenga abierto o cerrado el óculo central de la sala del *caldarium*. La simulación sobre la que se procesa el cálculo es la Edeta202.

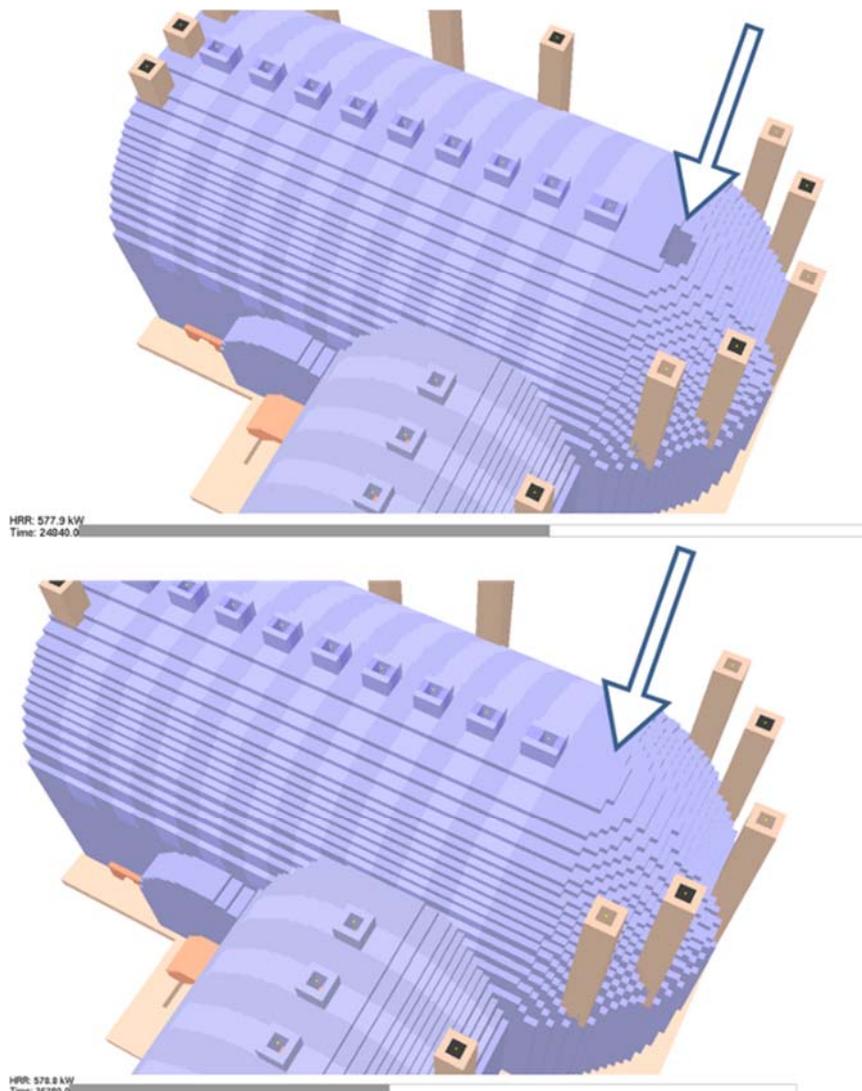


Ilustración 351. Esquema del modelo con y sin la abertura del óculo en el final del ábside.

### Discusión y resultados

Aunque no hay constancia y evidencia del óculo en los restos arqueológicos y elementos arquitectónicos documentados en las termas, toda la documentación bibliográfica consultada, su presencia en diversas salas calientes de termas que hemos visitado, caso

de Pompeya, y la propuesta de modelo arquitectónico realizada por los arquitectos D. Julián Esteban y D<sup>a</sup> Elisa Moliner, nos obligan a considerar su existencia y por tanto a probar su comportamiento térmico.

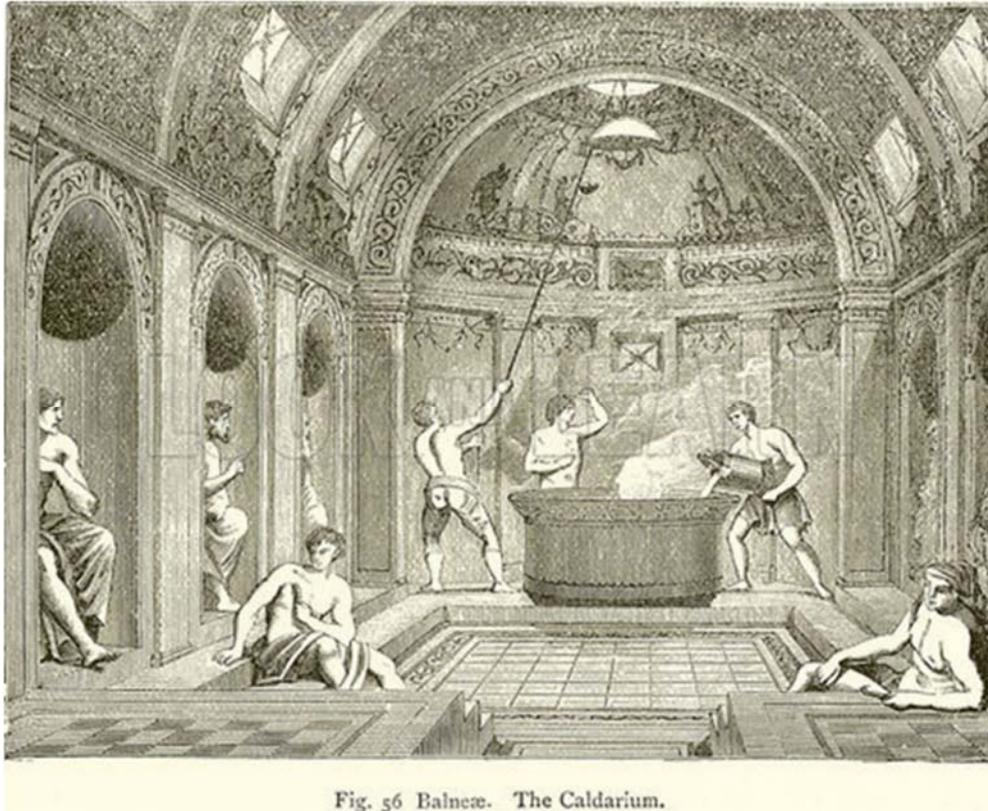


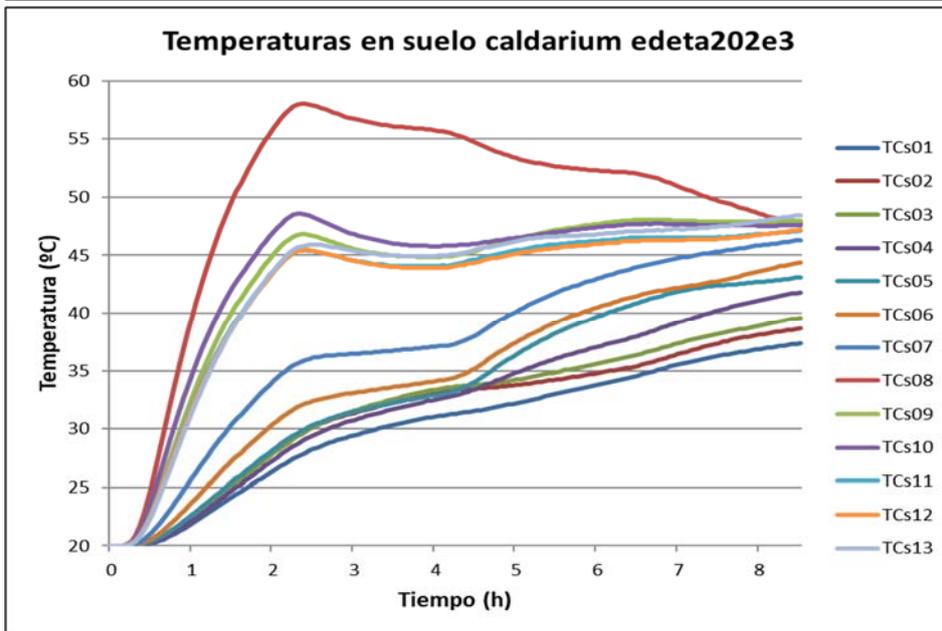
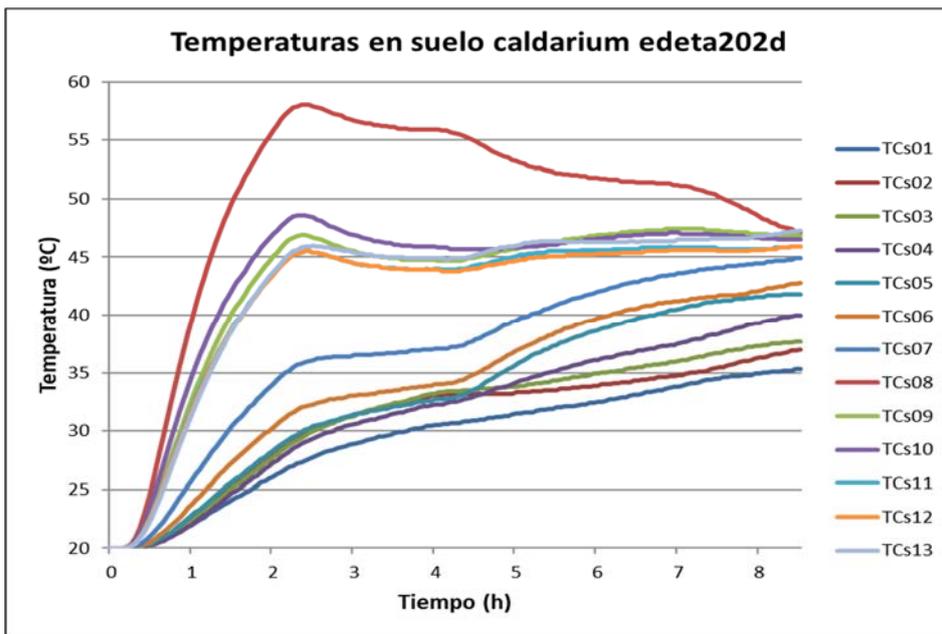
Ilustración 352. Imagen que representa la apertura del óculo mediante un sistema accionado manualmente.

Sobre la simulación Edeta202 estudiada anteriormente, en la que se consideran los protocolos de aperturas y cierres de los conductos y la carga térmica de los hornos, se introduce una variable consistente en un espacio que define la abertura del óculo central en la bóveda del ábside del *caldarium*. La dimensión que se estipula corresponde a un óculo de un metro de diámetro. La simulación con el óculo abierto (Edeta202d) y con el óculo cerrado (Edeta202e3) se presenta después de haber realizado pruebas en las que se podía mantener abierta y cerrada durante una misma simulación, sin presentar ninguna variación apreciable en los conceptos de temperatura y flujos estudiados.

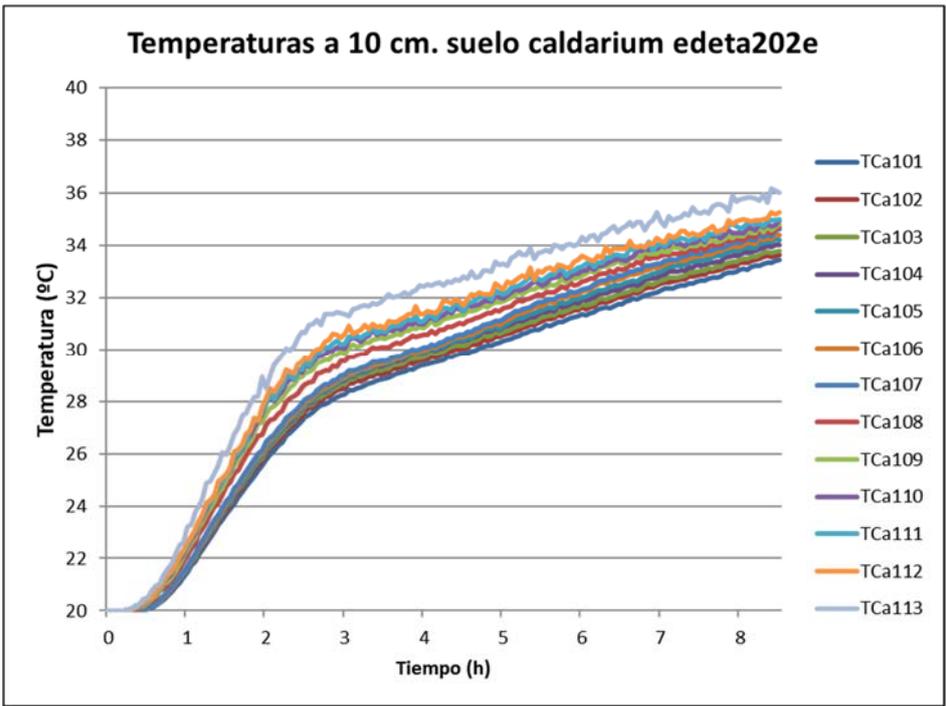
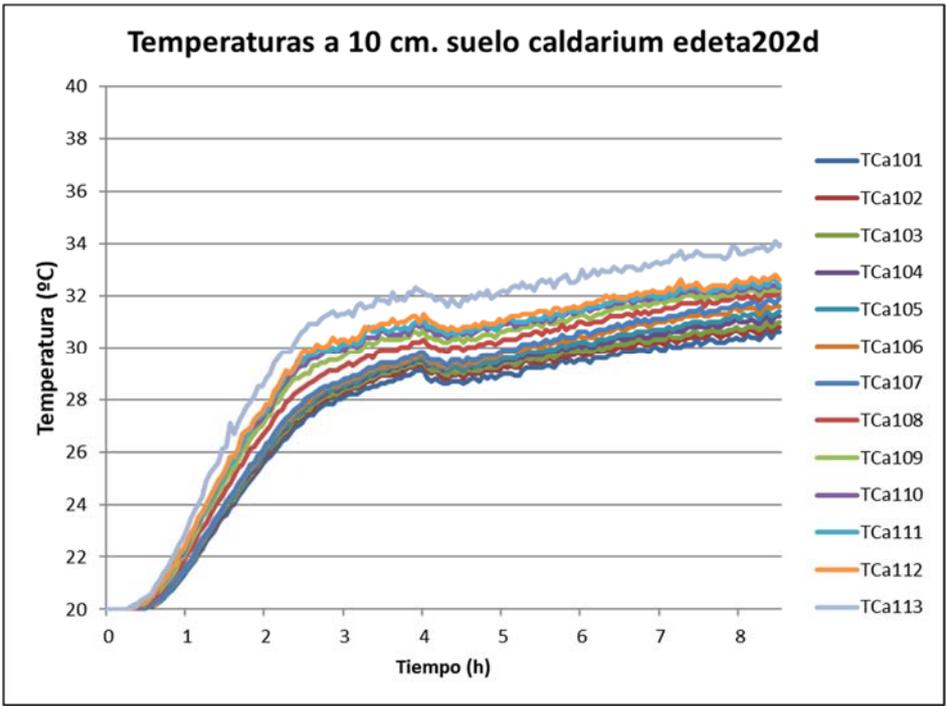
El concepto fundamental de la presencia de este óculo se define como un componente de control ambiental del confort interior, que depende de otros factores como son las humedades relativas, el vapor existente y las condensaciones que se pueden estar produciendo debido a la evaporación del agua vertida sobre el pavimento. Estos conceptos, que se consideran importantes para determinar el valor de dicho confort interior, se plantean como investigaciones de futuro de esta tesis, ya que los parámetros

de humedades relativas en el ambiente no han podido ser introducidos en el actual programa de cálculo. Así, también, las ventanas no se han considerado como elementos practicables, ya que no hay constancia de ello, aunque parece evidente que la infiltración de aire frío y las salidas de aire caliente podrían llegar a ser un condicionante que variase las condiciones de confort de la sala.

Los resultados obtenidos en las dos simulaciones determinan los siguientes gráficos de temperatura según los sensores situados en el pavimento, a 10 cm del pavimento y en la bóveda del caldarium.



Tablas 48 y 49. Gráficos de los sensores de temperatura situados en el suelo del *caldarium*.



Tablas 50 y 51. Gráficos de los sensores de temperatura situados a 10 cm del suelo del *caldarium*.

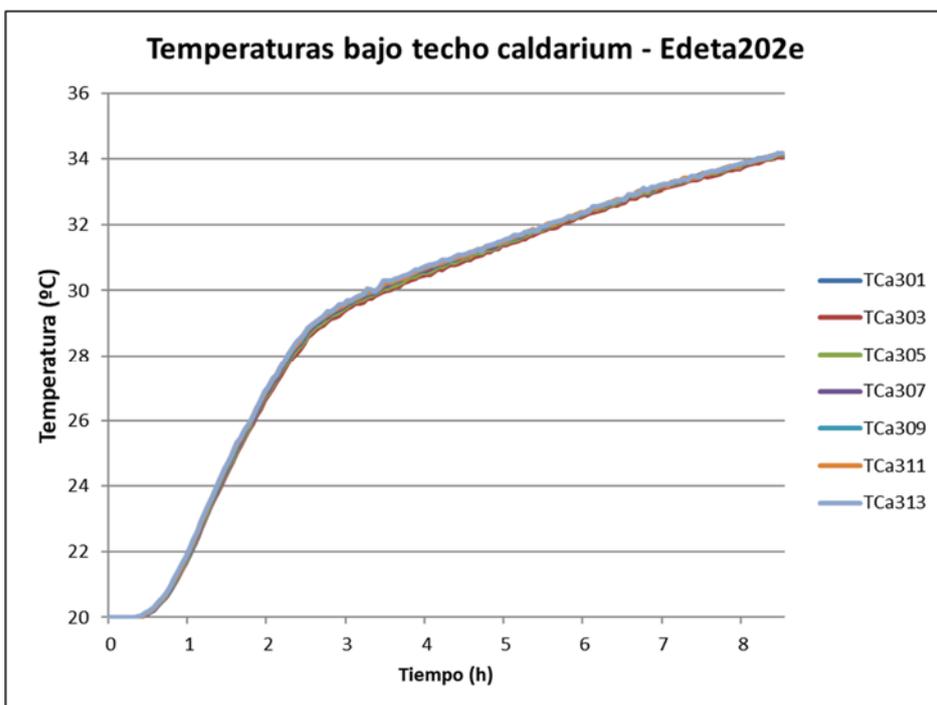
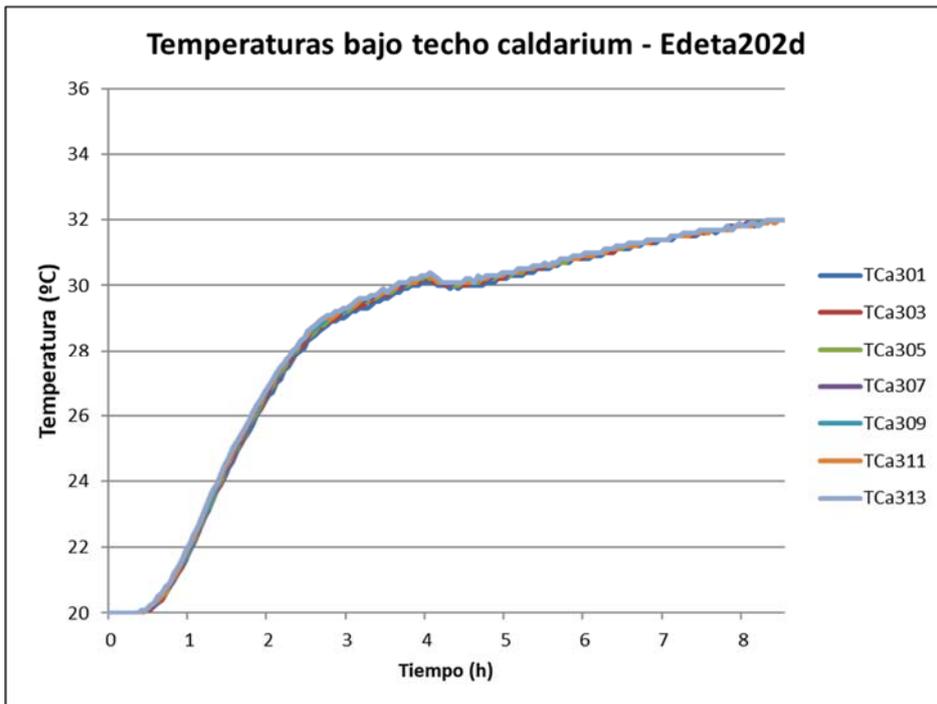
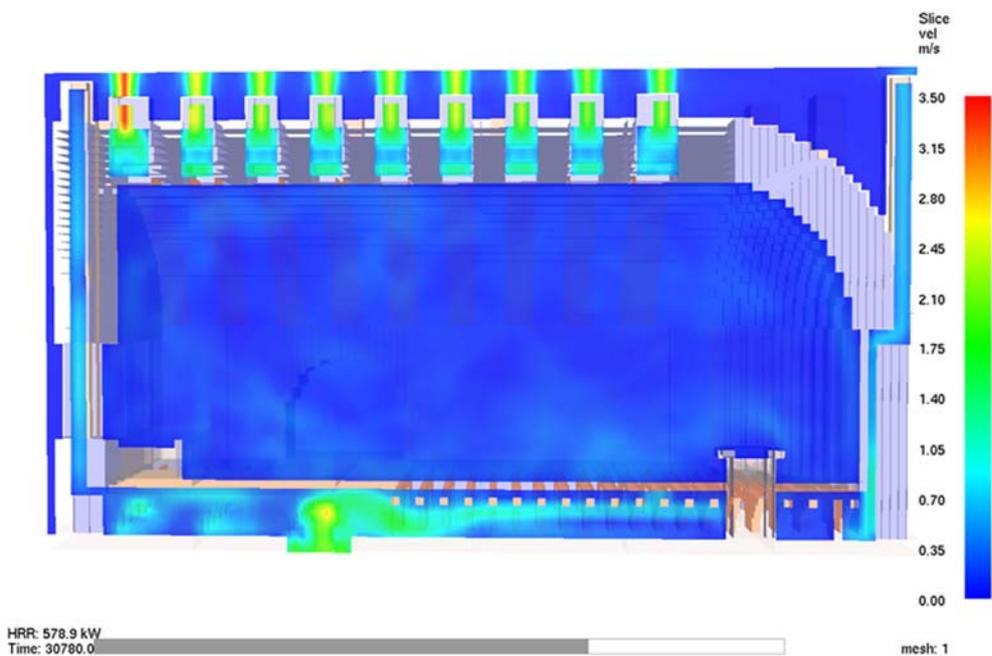
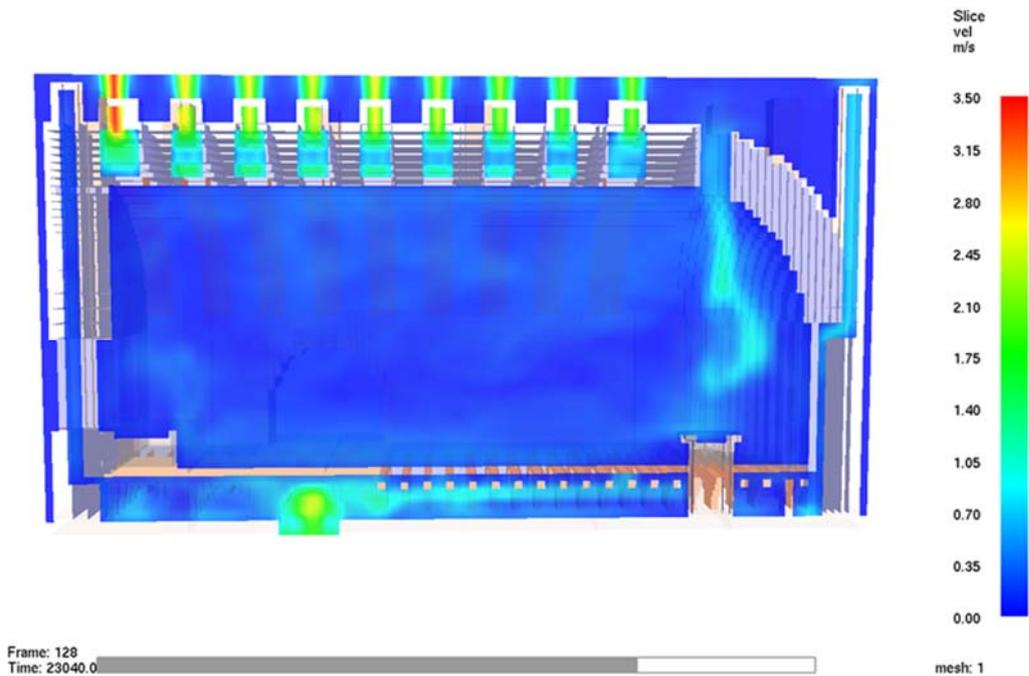


Tabla 52 y Tabla 53. Gráficos de los sensores de temperatura situados a 20 cm de la bóveda del caldarium.

En cuanto a los comportamientos de los flujos interiores hay que diferenciar los que se producen en el interior de los conductos y los que se producen en el interior de la sala. Por lo que respecta a los primeros, no existe ninguna variación apreciable que modifique ni la velocidad ni la temperatura, ya que la afección de la apertura o cierre del óculo

sobre estos puntos es prácticamente nula. Por lo que respecta al interior de la sala, sí que se observa variación con respecto a la salida de aire caliente y entrada de aire frío.



Ilustraciones 353 y 354. Sección del *caldarium* en las dos simulaciones donde se aprecia el flujo de entrada de aire por el óculo.

En las dos simulaciones se produce unas turbulencias interiores a lo largo de toda la sala. Se deben a la convección del aire calentado en suelo y paredes. El análisis de los resultados con el óculo abierto nos demuestra que cada 10 minutos aproximadamente,

el aire caliente deja de salir y se produce una entrada de aire frío que llega hasta el suelo de la sala. Es un movimiento ocasional y que no establece una corriente continua que produzca incomodidades.

### Conclusiones

La conclusión principal es que el óculo debería de estar abierto una vez calefactada la sala. Tener el óculo abierto no representa una pérdida significativa de calor ya que no se produce una corriente constante de aire desde el exterior. En valores absolutos y después de la simulación, la temperatura de los sensores más desfavorables desciende aproximadamente 5 °C.

La incidencia sobre el flujo es apreciable ya que el aire caliente tiene menor densidad y sale por el óculo entrando aire frío por el mismo óculo o por cualquier otro punto de la sala, aunque en momentos muy puntuales. Esta entrada incide directamente sobre la fuente y sirve como renovación ocasional del aire interior, con lo que se controla la humedad y los olores.

El no disponer de óculo o tenerlo cerrado, repetiría condiciones de salas no ventiladas y con un gran aporte de calor como el *laconicum* o la *sudatio*, en las que el calor se mantiene generando una atmosfera con humedades relativas próximas a la saturación, y por ese motivo es fácil interpretar que en esta tipología de sala debería de existir una ventilación natural, ya sea por el óculo o por las ventanas.

## Hipótesis 8. Simulaciones Edeta202, Edeta205 y Edeta208

### Objetivo

Determinar la variación de temperatura interior comparando con una condición climática externa de frío extremo (-10 °C), con lo que se consigue una diferencia total con las simulaciones realizadas anteriormente de 30 °C. También se procede a la simulación del mismo modelo con el doble de potencia térmica para poder determinar el valor de temperatura alcanzado con dicha carga térmica.

### Discusión y resultados

Se ha procedido a comparar el modelo determinado como eficiente (Edeta202) con una simulación en la que la temperatura exterior es de -10 °C (Edeta205) para poder determinar cómo afecta una temperatura extrema al hecho de alcanzar la temperatura de uso óptima en el interior de la instalación. En previsión de un resultado no óptimo se procede a simular el mismo modelo, pero con el doble de potencia calorífica (Edeta208). En todas las simulaciones se mantienen las condiciones de aperturas de conductos ya descritas en la hipótesis 4 y con la condición de apertura del óculo con la instalación ya caliente descrito en la hipótesis 6.

Las condiciones de las tres simulaciones son las siguientes:

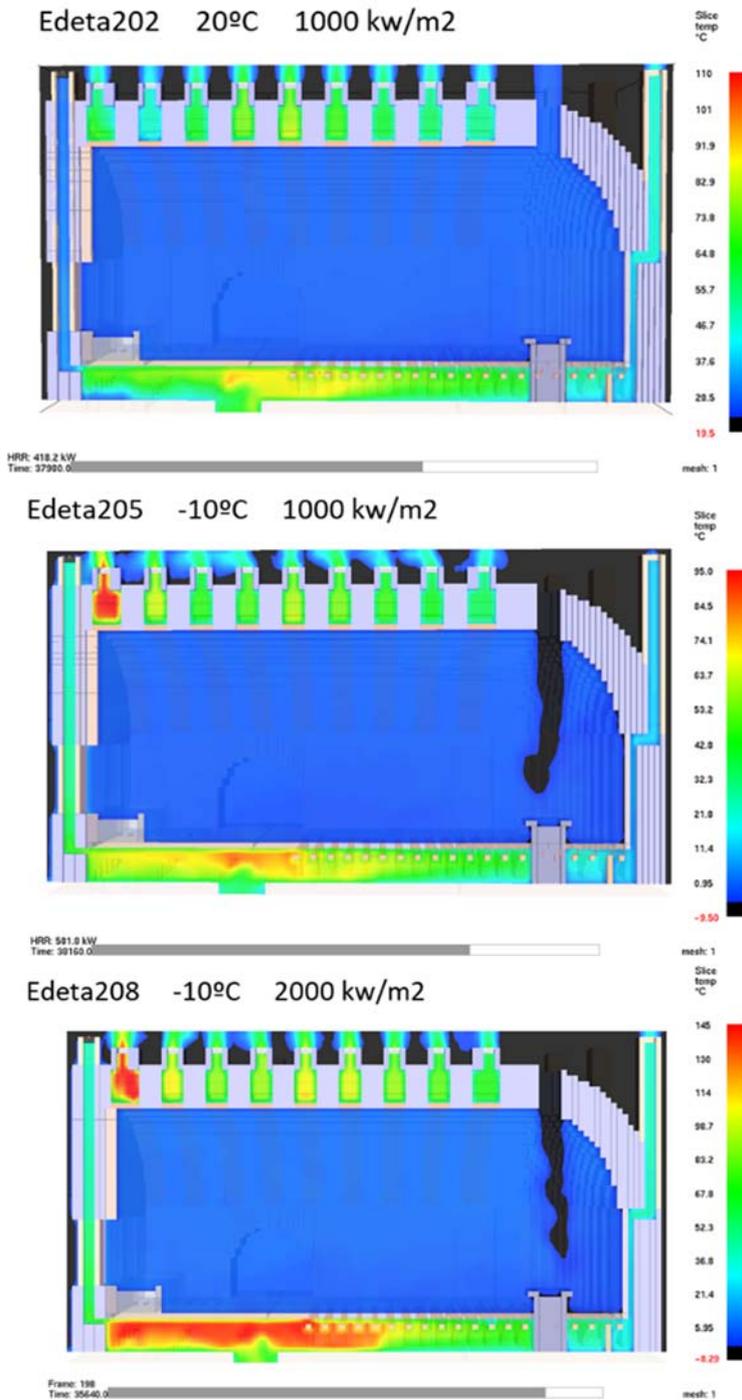
Características simulación Edeta202	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Características simulación Edeta205	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	-10 °C

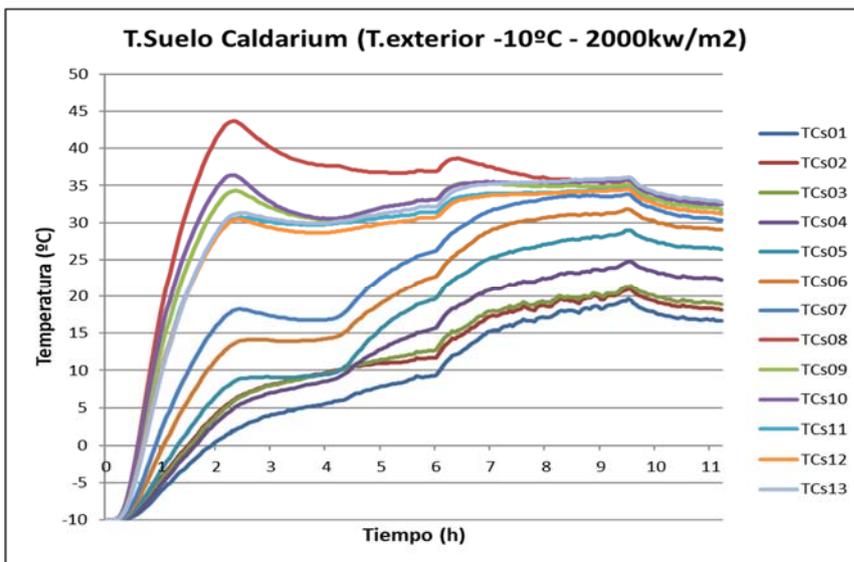
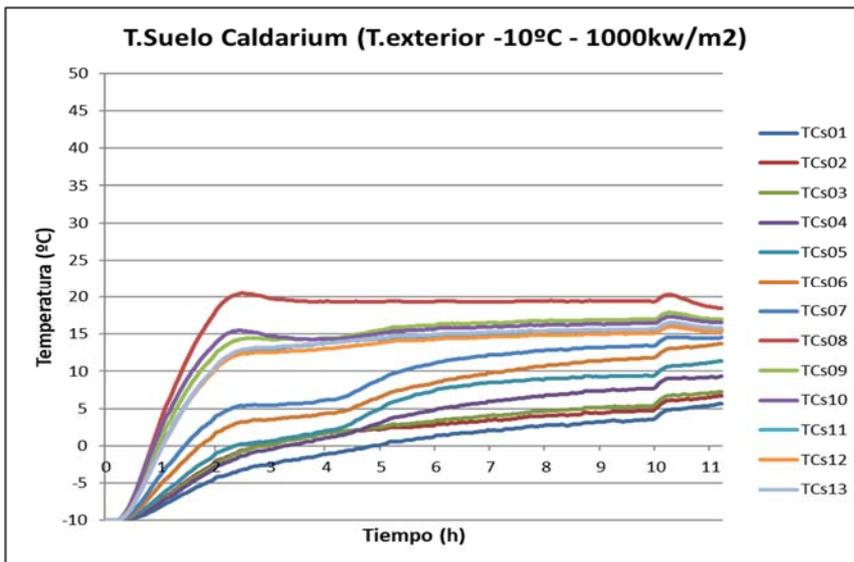
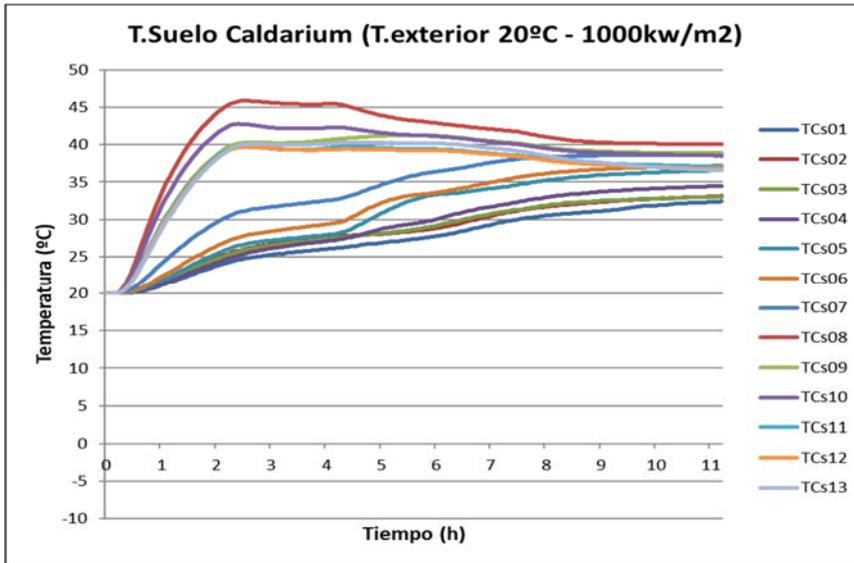
Características simulación Edeta208	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	480 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	320 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	320 kw
Potencia máxima total	1.120 kw
Temperatura ambiental exterior	-10 °C

Tablas 54, 55 y 56. Condiciones de las simulaciones Edeta202, Edeta205 y Edeta208.

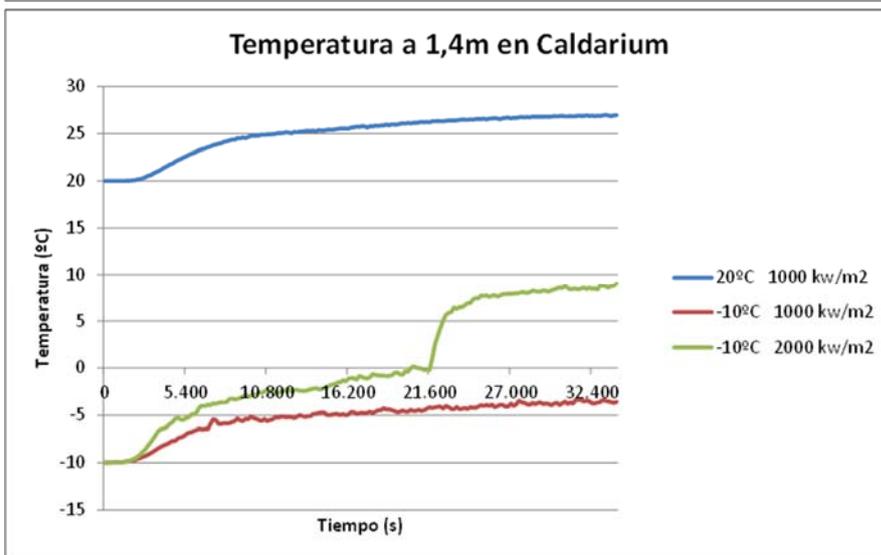
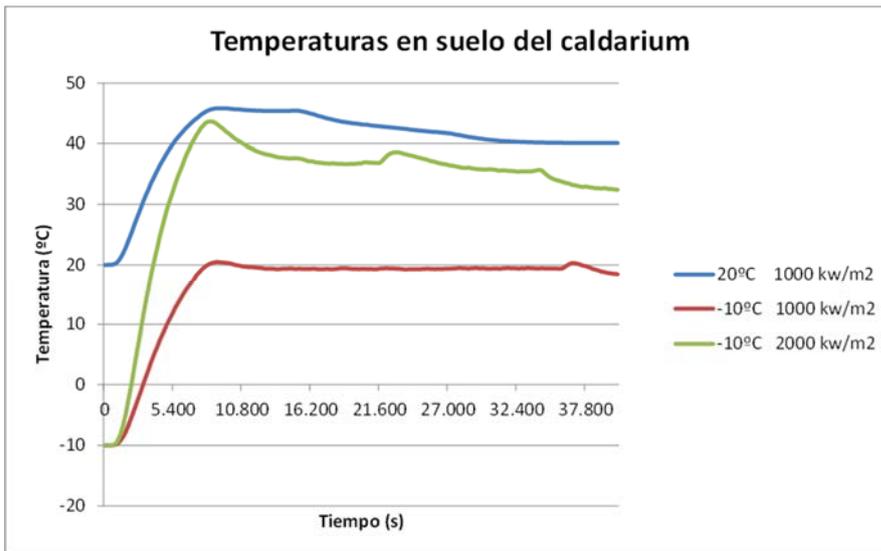
La lectura de temperaturas es bastante uniforme en toda la sala con la única diferencia de tener unos valores menores de temperatura alcanzados. Existe una entrada de aire frío considerable que se produce por el óculo y que enfría considerablemente la temperatura de la sala, llegando incluso a disminuir considerablemente las temperaturas sobre el pavimento.



Ilustraciones 355, 356 y 357. Sección de la sala del *caldarium* en las tres simulaciones donde se puede ver la entrada del aire frío.



Tablas 57 y 58. Gráficos de los sensores de temperatura en el suelo del *caldarium* en cada una de las tres simulaciones.



Tablas 59 y 60. Gráficos de los sensores de temperatura en el suelo y a 1,4 m en el *caldarium*.

### Conclusiones

Con la misma potencia calorífica se demuestra que una diferencia de 30 °C en la temperatura exterior baja la temperatura interior de la sala en torno a 20 °C.

Para aumentar la temperatura interior es necesario aumentar la carga del horno al doble de potencia acercándose a un valor próximo en las temperaturas máximas alcanzadas (alrededor de 35 °C), 5 °C menos que en la simulación Edeta200.

Con temperaturas exteriores muy bajas es más que probable que el óculo estuviera cerrado para evitar la entrada de aire frío.

## Hipótesis 9. Simulaciones Edeta202d y Edeta202e

### Objetivo

Determinar el comportamiento del interior de las salas según tengan las puertas de comunicación entre ellas abiertas o cerradas.

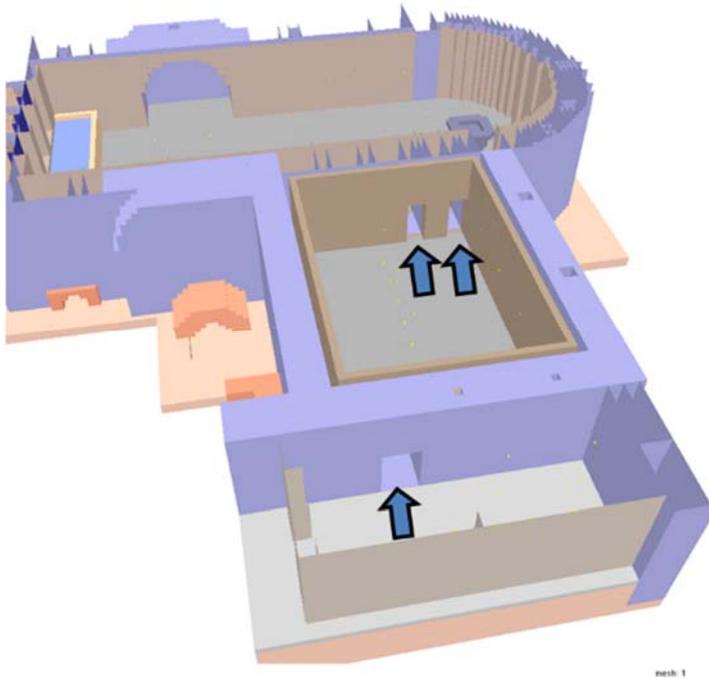


Ilustración 358. Modelo de la simulación a realizar donde se indican las puertas de acceso a cada sala.

### Discusión y resultados

Se van a comparar los resultados de la simulación Edeta202d en la que las puertas existentes de comunicación entre las salas del *caldarium* y del *tepidarium* se encuentran cerradas y la simulación Edeta202e en la que dichas puertas se encuentran abiertas.

Las condiciones de potencia en los hornos y el protocolo de aperturas de los conductos también son las mismas que en la simulación Edeta202.

Características simulación Edeta202	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

Tabla 61. Condiciones de simulación Edeta202.

El óculo estará siempre abierto, por lo que con las puertas abiertas se produce una circulación de aire entre la puerta de entrada al *frigidarium* y el propio óculo.

Esta circulación interior de aire tiene dos efectos negativos sobre las condiciones ambientales de las salas:

1- Al entrar aire a temperatura ambiente las salas no mantienen una temperatura elevada ni unificada.

2- Las corrientes interiores entre las salas resultan incómodas para los ocupantes, sobre todo en el *caldarium* donde la humedad y temperaturas son más altas. La única forma de evitar estas corrientes interiores es mantener las puertas cerradas en todo momento. Eso solamente se conseguía con dobles puertas en los muros, de forma que se cerrara la primera puerta antes de abrir la segunda.

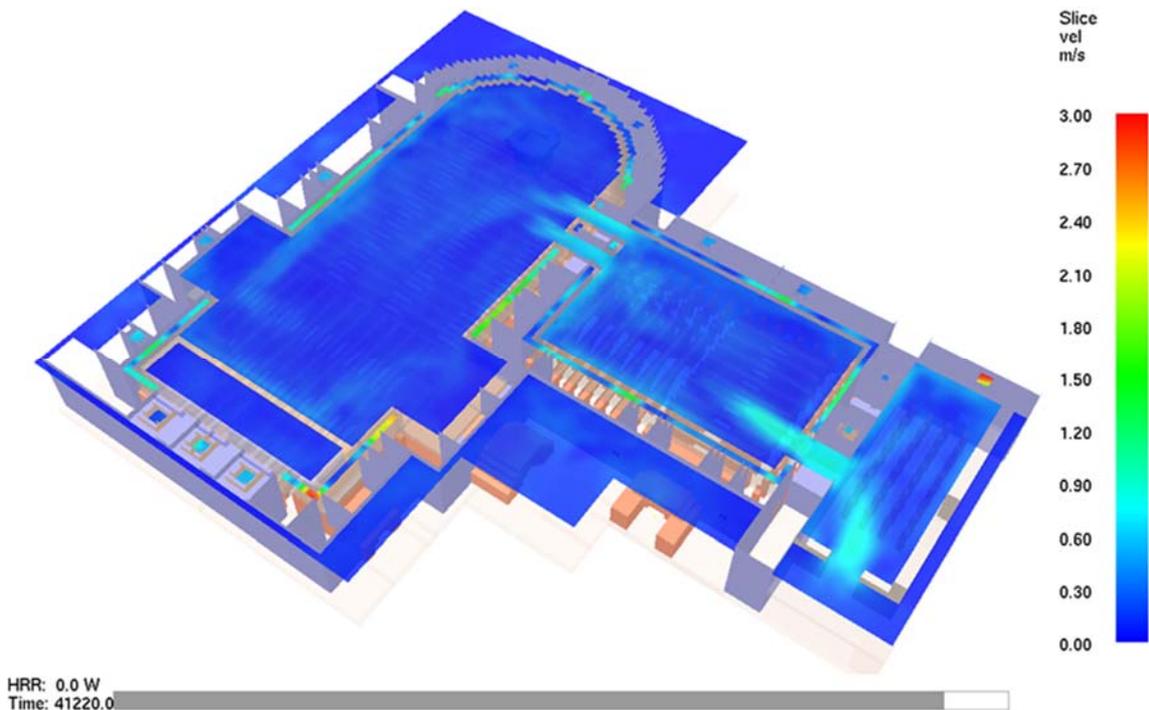


Ilustración 359. Flujos sobre el suelo de las distintas salas con la simulación de puertas abiertas.

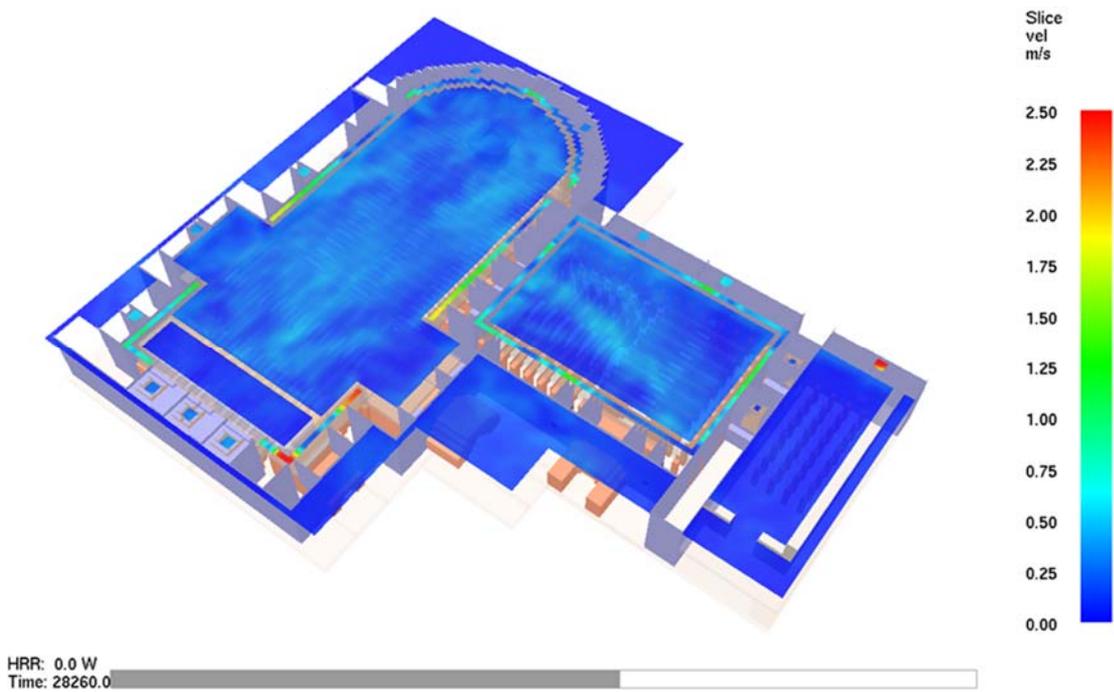


Ilustración 360. Flujo en el suelo de las distintas salas con la simulación de puertas cerradas.

Se comprueba, mediante un plano de vectores de velocidad a 1 m sobre el suelo, la circulación del aire por el interior de las distintas salas. Su entrada por la puerta del *frigidarium*, el paso al *tepidarium* a través de la puerta y la entrada en el *caldarium* por la puerta doble.

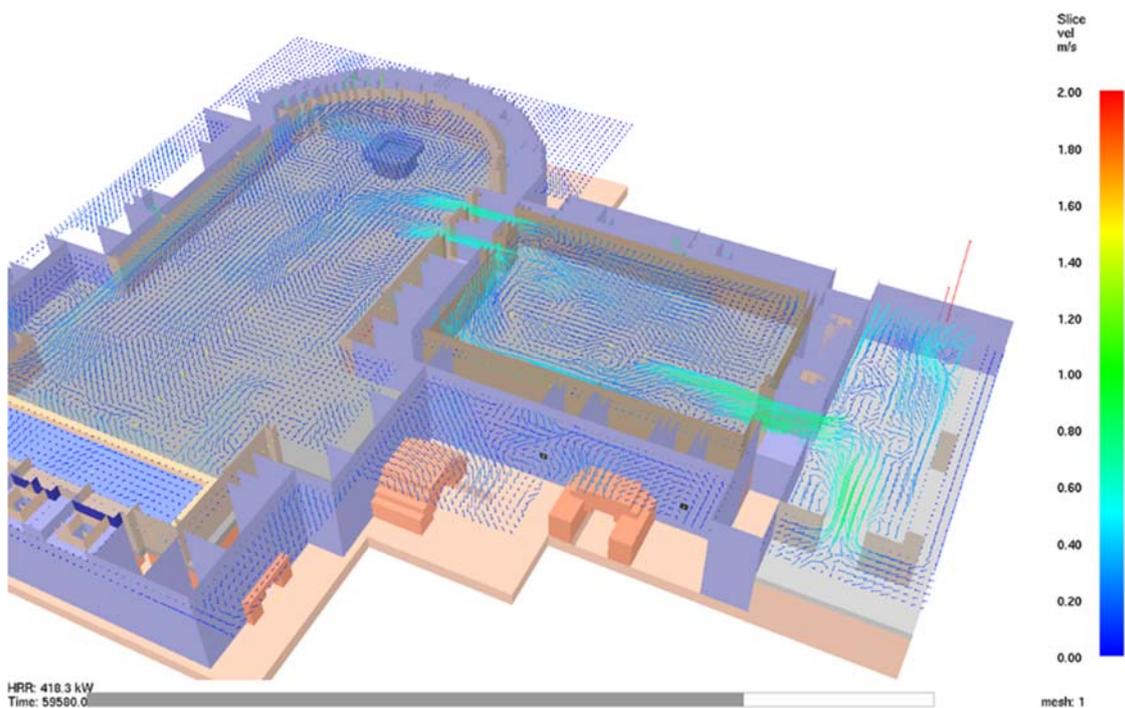
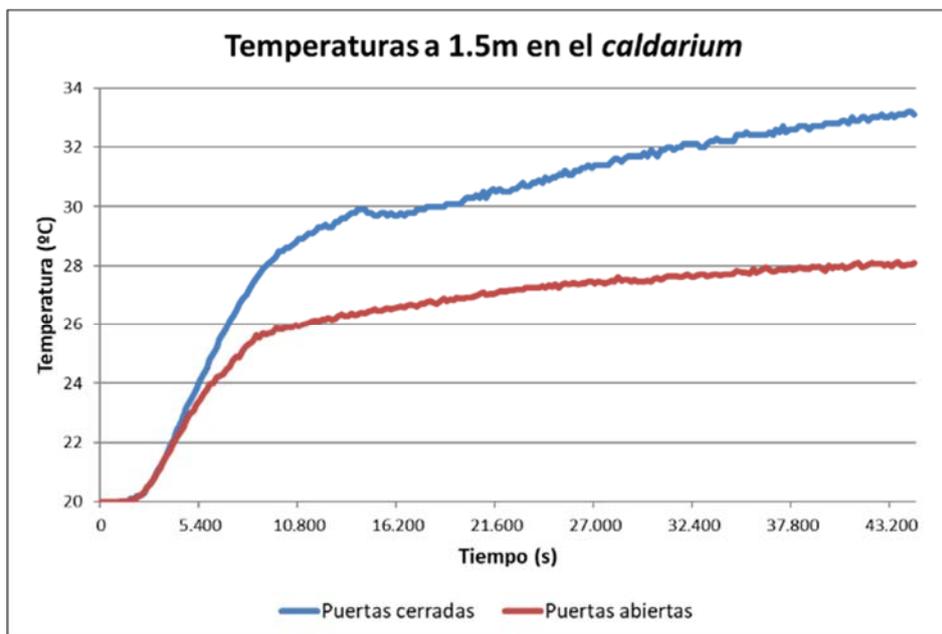
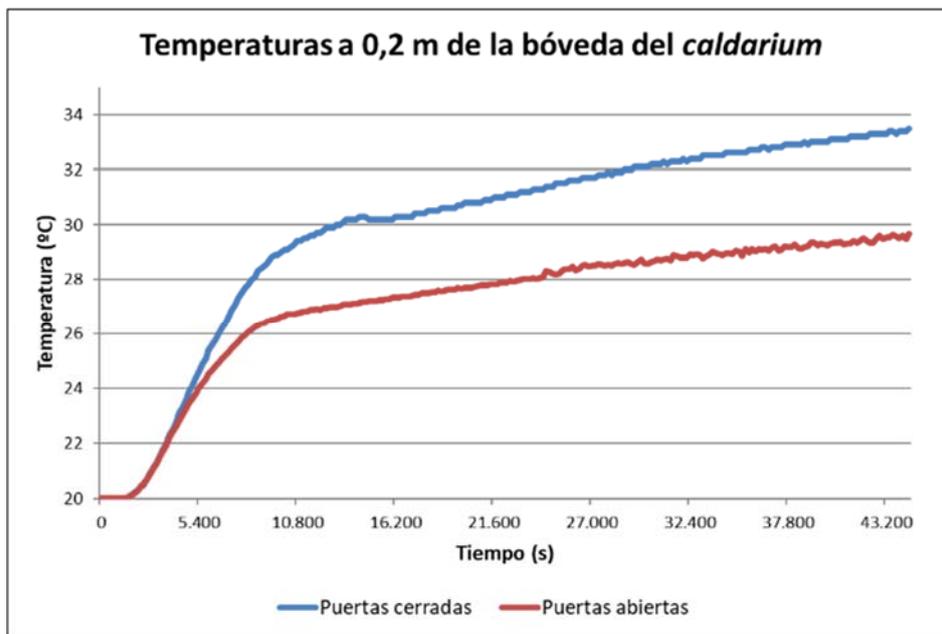


Ilustración 361. Flujo vectorial a un metro del suelo.

Al comparar las curvas de temperatura que se obtienen en los sensores a 0,2 m de la bóveda y a 1,5 m del pavimento en el *caldarium*, se observa una diferencia mayor conforme se van alcanzando temperaturas altas, llegando a tener valores que oscilan de 3 a 5 °C respectivamente. La gráfica representa la media de todos los sensores existentes en dicho punto.



Tablas 62 y 63. Gráficas de temperatura que se obtienen a 1,5 m del suelo y a 0,2 m de la bóveda.

## Conclusiones

Queda demostrado que la instalación con las puertas abiertas obtiene una mayor diferencia de las temperaturas alcanzadas entre las dos situaciones, obteniéndose una pérdida importante de energía en la instalación con puertas abiertas.

Los flujos de aire frío que circulan entre las salas son relativamente altos y representarán una incomodidad importante por lo que deberán existir puertas para evitar las corrientes interiores.

Todas las corrientes interiores se evitan si existen dos puertas en cada paso, la persona abre la primera, entra en el espacio intermedio y la cierra, y abre la segunda para pasar a la sala cerrándola tras de sí.

## Hipótesis 10. Simulaciones Edeta4b y Edeta4c

### Objetivo

Determinar la funcionalidad de los huecos existentes entre el *hypocaustum* de la sala del *caldarium* y el de la sala del *tepidarium*.

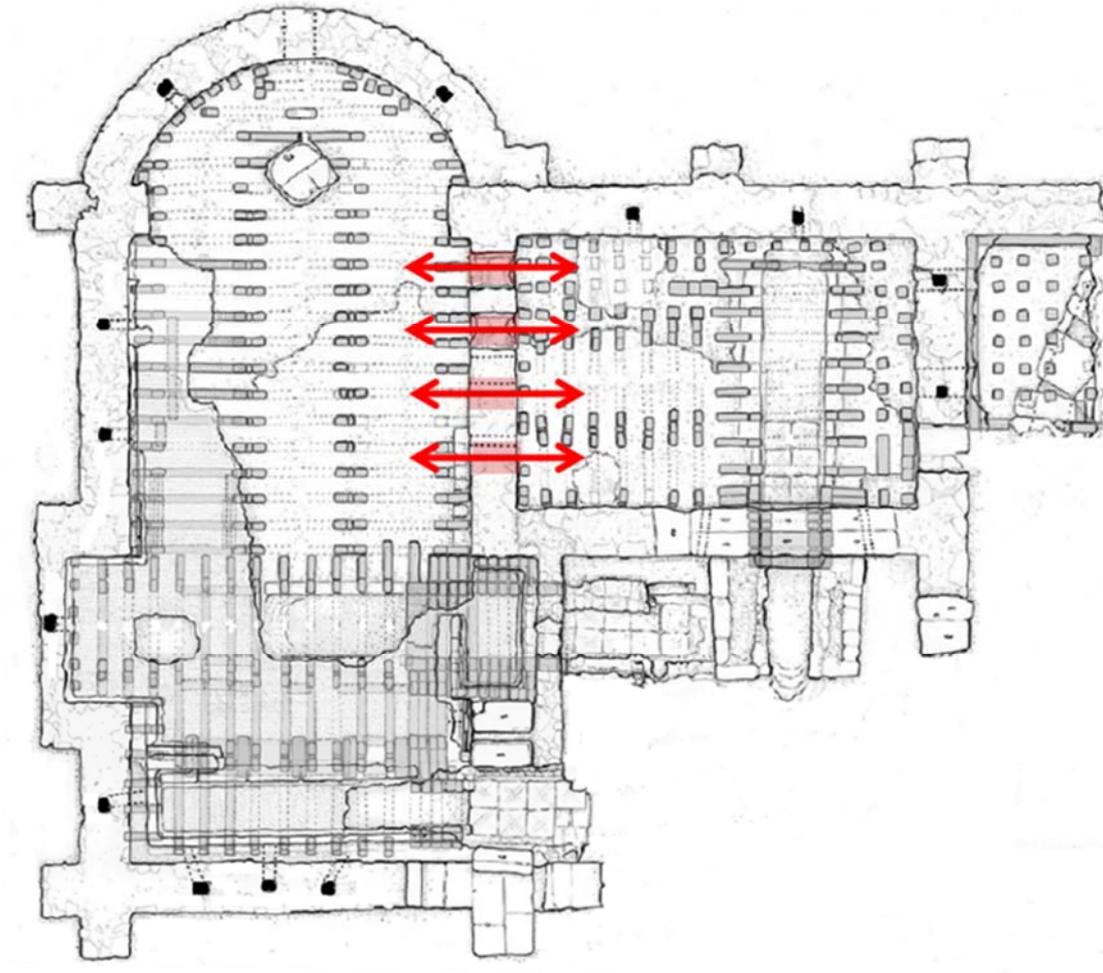


Ilustración 362. Sección por el *hypocaustum* donde se observan los 4 huecos de comunicación.

### Discusión y resultados

Se realizan dos simulaciones para saber el alcance de funcionalidad que tienen los 4 huecos de comunicación existentes en el muro que separa los *hypocaustum* de la sala del *caldarium* y del *tepidarium*.

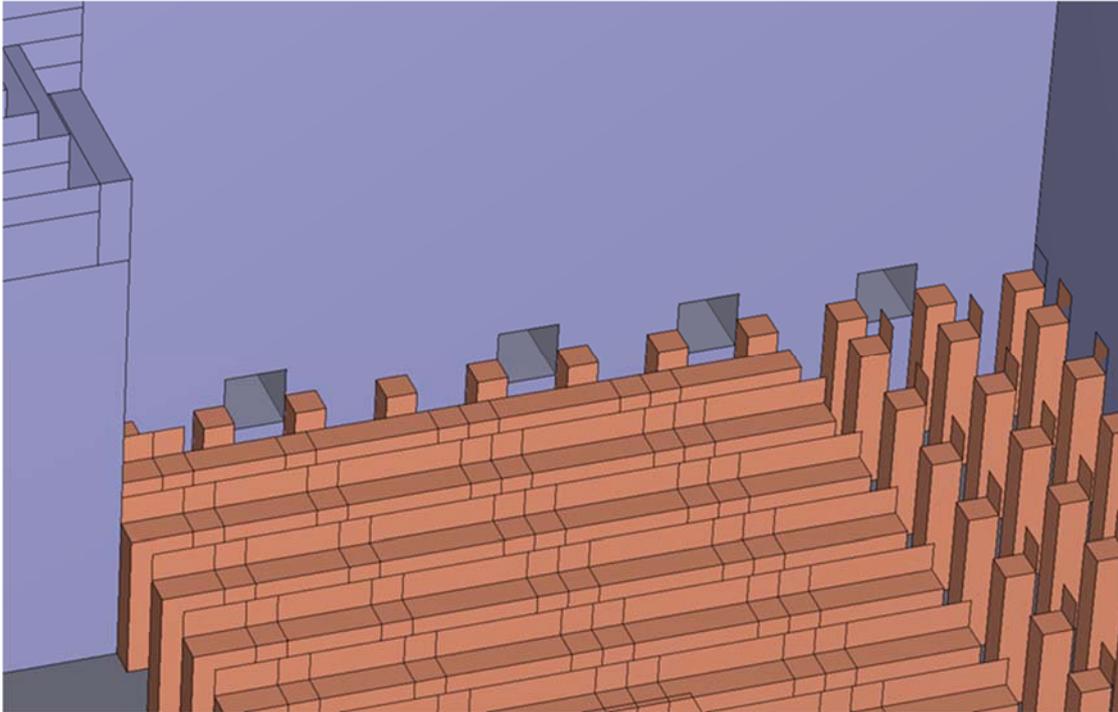


Ilustración 363. Detalle de los huecos de comunicación en el modelo arquitectónico.

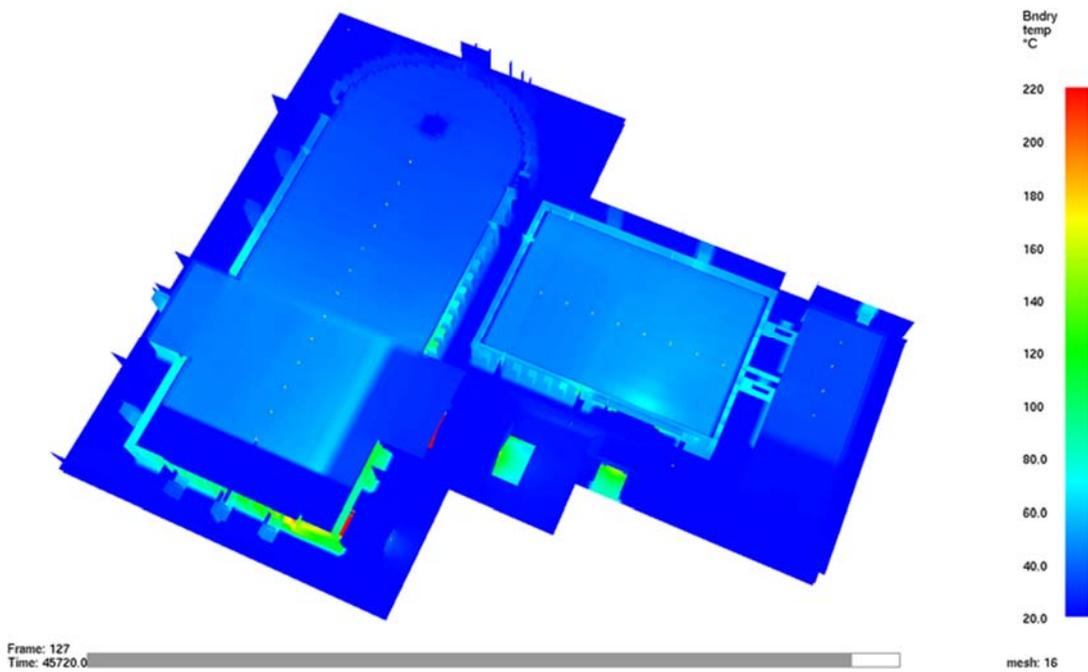
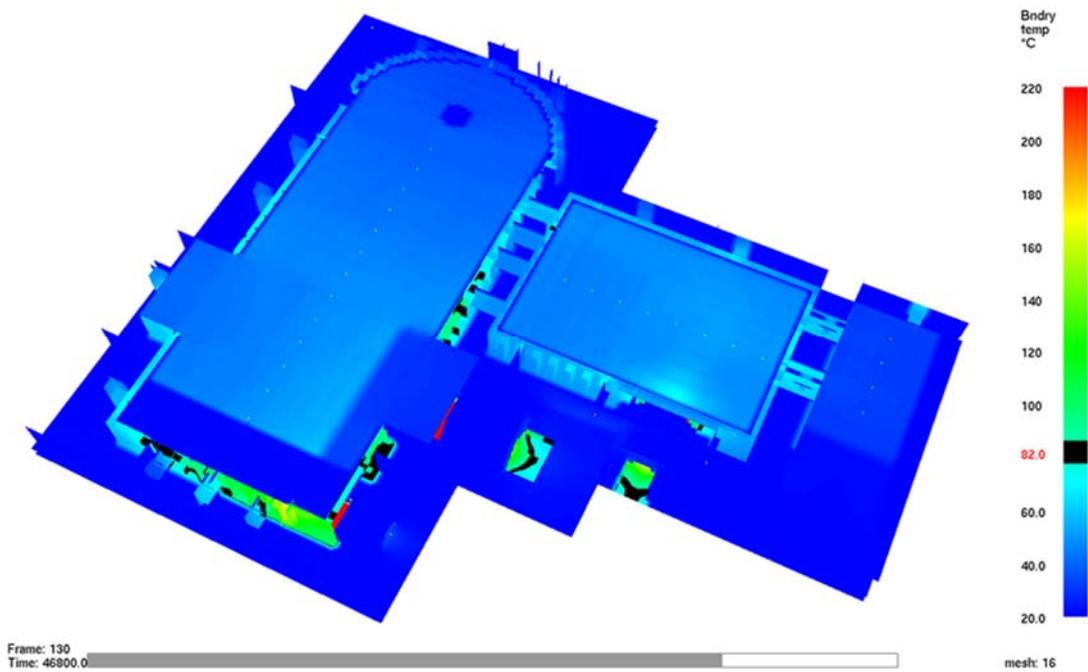
En la primera simulación (Edeta4b) los huecos están completamente abiertos. En la segunda simulación (Edeta4c) los huecos se tapan impidiendo la comunicación y circulación del aire entre los *hypocaustum* de las salas.

La secuencia de encendidos es la utilizada para los modelos anteriores ya contrastada como la más eficiente térmicamente. La potencia calorífica es la misma que la descrita anteriormente y que coincide con la simulación Edeta202.

Características simulación Edeta202	Valor
Potencia máxima del Horno 1 – Horno grande del Caldarium	240 kw
Potencia máxima del Horno 2 – Horno pequeño del Caldarium	160 kw
• Potencia máxima del Horno 3 – Horno del Tepidarium	160 kw
Potencia máxima total	560 kw
Temperatura ambiental exterior	20 °C

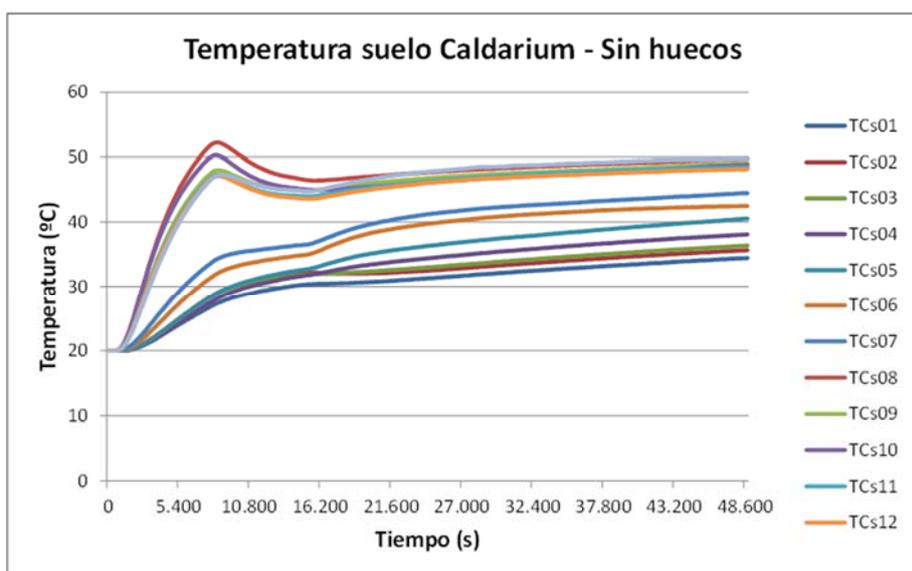
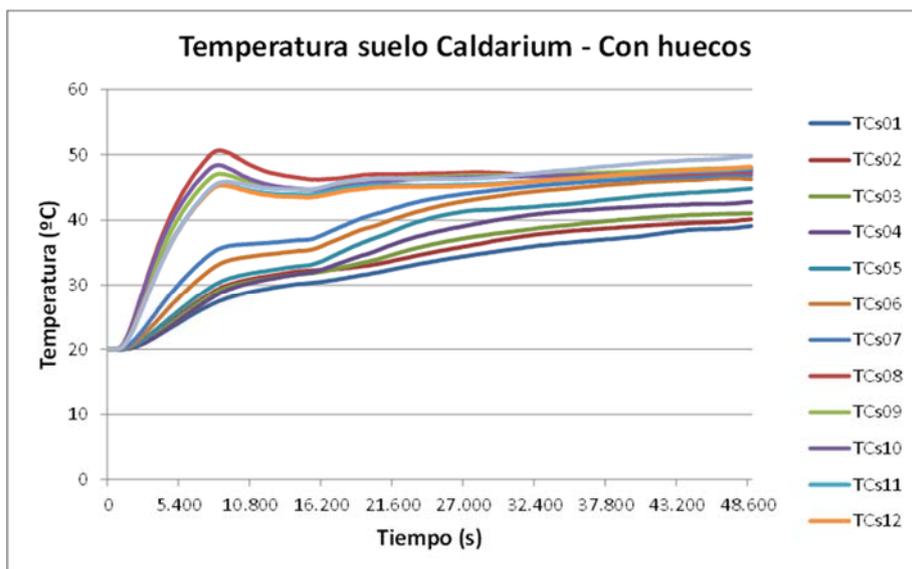
Tabla 64. Condiciones de la simulación.

Los resultados obtenidos nos demuestran que las temperaturas son distintas si se tienen en cuenta los huecos de comunicación entre los espacios, llegando a obtener mayores valores de temperatura.



Ilustraciones 364 y 365. Esquema de las temperaturas alcanzadas en el suelo de las distintas salas, comunicando los espacios en la primera y sin comunicarlos en la segunda.

Al considerar los huecos que comunican las salas se puede apreciar una mejor agrupación de temperatura y una mayor uniformidad entre ellas.



Tablas 65 y 66. Gráfica de los sensores de temperaturas situados en el suelo en cada simulación.

Además, se puede entender la necesidad de estos huecos viendo la geometría del complejo y su principal particularidad que es la asimetría de los hornos con respecto a las salas. Así, podríamos definir que el paso del aire caliente a través de estos conductos es necesario ya que permite reforzar con aire caliente procedente del *tepidarium* la zona más lejana del *caldarium*, consiguiendo una mayor uniformidad en las temperaturas alcanzadas.

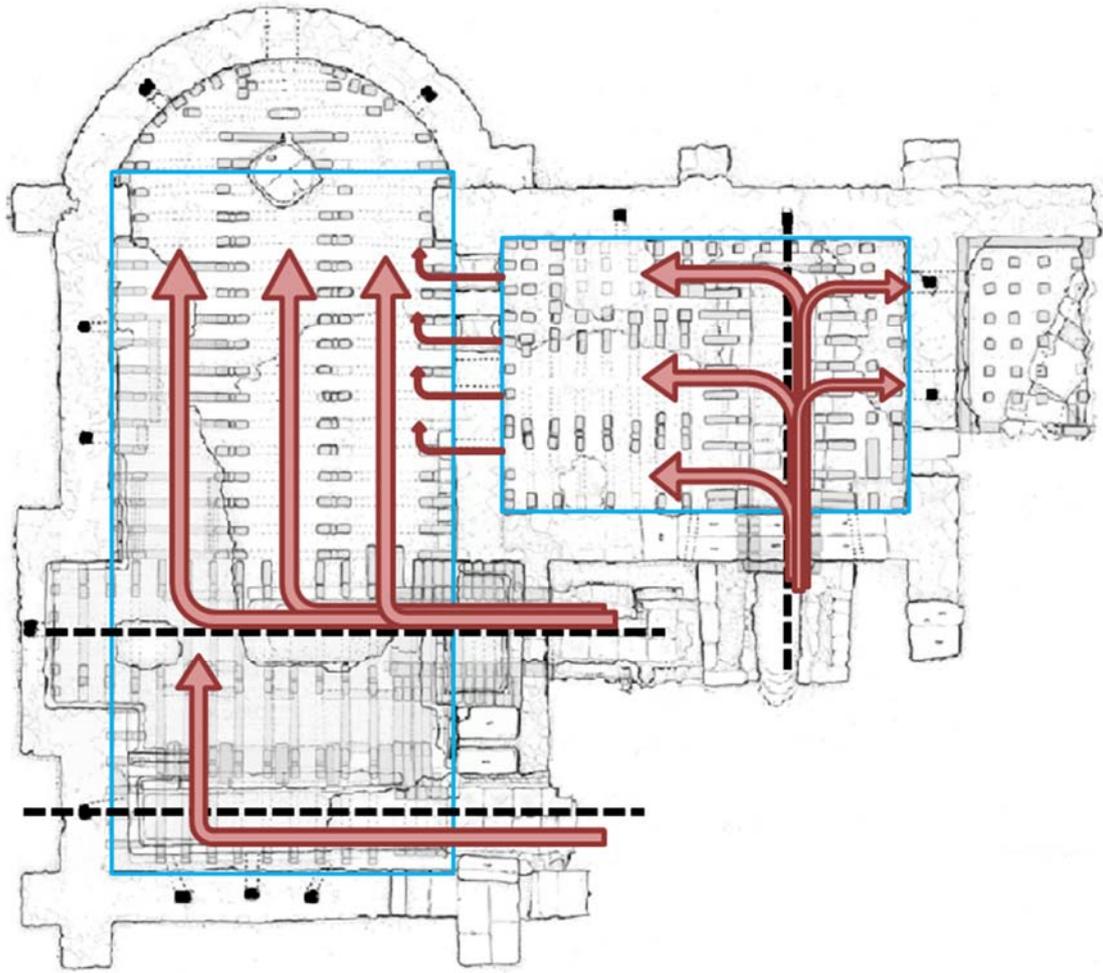


Ilustración 366. Esquema de direcciones de flujo en el *hypocaustum* de las distintas salas.

Además, hay que indicar que los flujos de aire caliente aumentan de velocidad llegando a valores cercanos a los 0,8 m/s, en los puntos más lejanos a los hornos a causa del cambio constructivo que se genera al sustituir los arcos de *cunneati* por simples *pilae*, disminuyendo la dificultad de circulación y facilitando el que el aire se pueda distribuir más rápidamente en el ábside del *caldarium*.

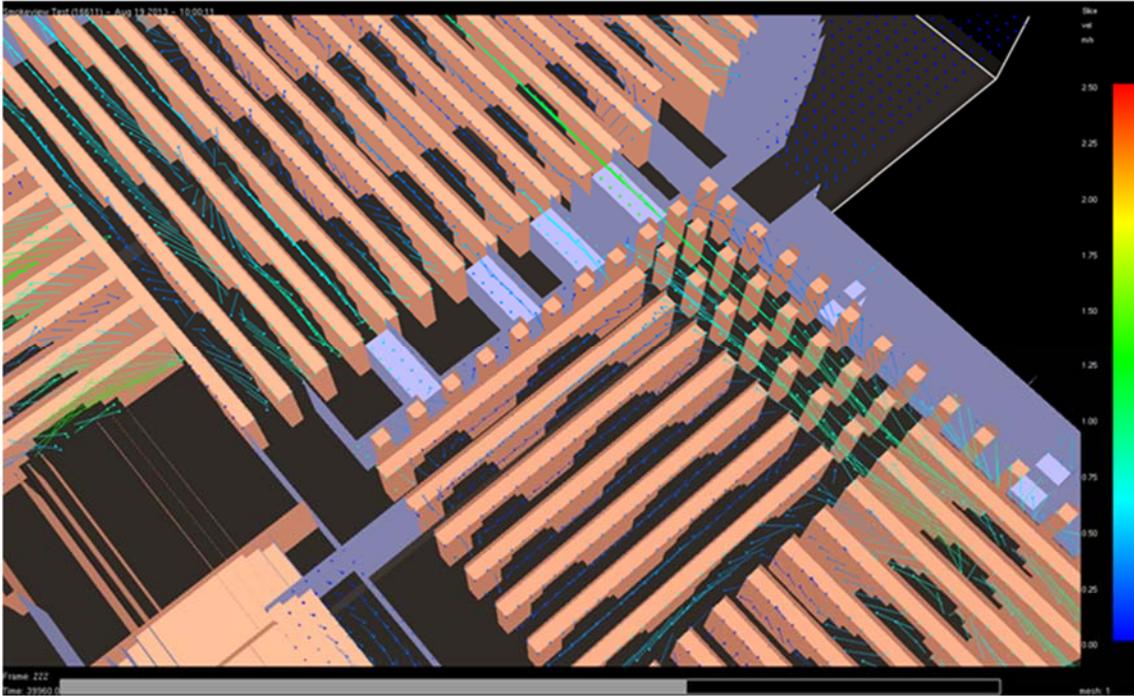


Ilustración 367. Detalle del flujo en la zona de los huecos de comunicación.

Otra discusión que se mantiene en esta hipótesis es la situación de la sala del *frigidarium* y que permanece en una situación muy estable y uniforme sin cambios aparentes durante toda la simulación. Es fácil pensar que los espacios de comunicación entre estas salas tendrían una función similar a la que reproduce el *caldarium* y el *tepidarium*, pero la simulación no ha funcionado en este sentido. La razón obedece a la falta de conducción que permita circular el aire por debajo del pavimento y evacuarlo en algún punto de la instalación permitiendo una circulación efectiva y funcional por el *hypocaustum* del *frigidarium*. Al no circular el aire caliente la sala no aumenta de temperatura y por tanto la función de estas aperturas en los muros no son efectivas al funcionamiento.

### Conclusiones

Los flujos de gases que provienen de los hornos si no tuvieran los 4 huecos no recorrerían algunas de las zonas más distantes del *hypocaustum* del *caldarium* y se crearían zonas con temperaturas menores en el pavimento de la sala, determinándose una distribución del calor no uniforme.

Los 4 huecos de comunicación entre los *hypocaustum* estaban dispuestos de forma que el horno del *tepidarium* aportara parte de calor a la zona del *caldarium*, entendiéndose la relación existente entre el tamaño del horno y el tamaño de la sala.

La facilidad de comunicación entre las salas se mejora con un cambio de la tipología constructiva de sustentación de la *suspensura*, cambiando los arcos por *pilae*, aumentando

la velocidad en el flujo del aire caliente y permitiendo llegar con mayor rapidez al fondo del ábside de la sala.

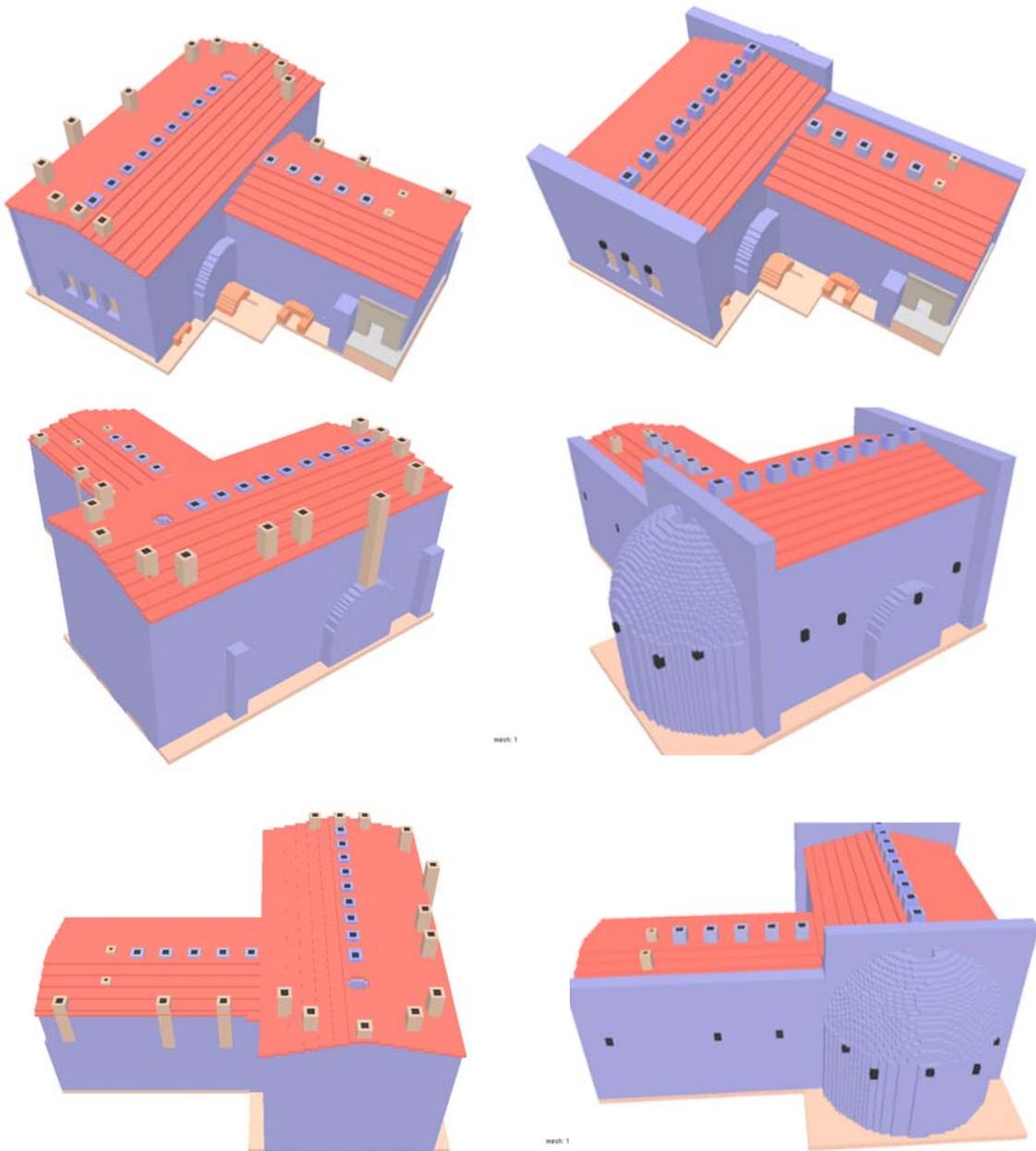
La asimetría de la distribución del *hypocaustum* del *caldarium* con respecto a la situación de los hornos se comprueba que es funcional gracias a la presencia de estos huecos que comunican el aporte de aire caliente que se genera en el *hypocaustum* del *tepidarium*.

El *hypocaustum* del *frigidarium* no es funcional. Se debe de simular una conducción que permita la circulación del aire caliente por dicho espacio.

## Hipótesis 11. Simulaciones Edeta500 y Edeta202

### Objetivo

Determinar el comportamiento de las temperaturas y fluidos al cambiar la salida de los conductos de los paramentos, acortando la distancia de forma que salen por aperturas practicadas en los muros.



Ilustraciones 368, 369, 370, 371, 372 y 373. Distintas visiones de las posibles salidas de los conductos de ventilación por la cubierta.

## Discusión y resultados

En esta hipótesis se decide cambiar la longitud de los conductos y chimeneas que sobresalen de los muros adaptándolos al modelo arquitectónico propuesto por Julián Esteban y Elisa Moliner en la propuesta de reconstrucción del complejo termal (Esteban 2015, 95).



Ilustración 374. Reconstrucción virtual en 3D de la hipótesis dimensional de las termas mayores. Autor: Global Mediterránea S. L. (Esteban 2015).

Es importante indicar que tanto los experimentos de Saalburg, como los documentos de Degbomont y Nielsen describen en muchos casos las salidas por los frentes de las fachadas y paramentos.

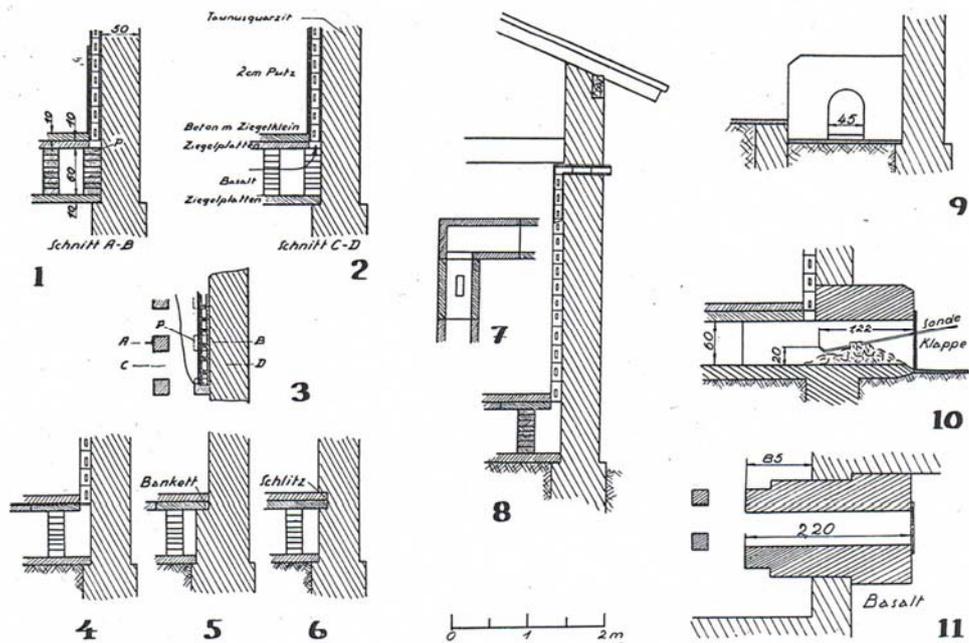


Ilustración 375. Detalles de la salida de los conductos según el experimento de Saalburg realizado por Kretschmer (Degbomont 1984, 155).

Se ha encontrado un modelo que reproduce la terma de Weissenburg, en Baviera (Alemania), con una disposición de salas bastante similar a la distribución de las termas de Mura. En esta reconstrucción se reproduce la hipótesis de huecos en la fachada y representa las cubiertas directamente con las bóvedas de medio punto sin chimeneas.



Ilustración 376. Reconstrucción virtual de las termas de Weissenburg. Autor: CyArk - CyArk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3339749>.

Aunque en ocasiones también otros investigadores indican las chimeneas traspasando la cubierta como el caso de las investigaciones de V. Balter (Degbomont 1984, 32).

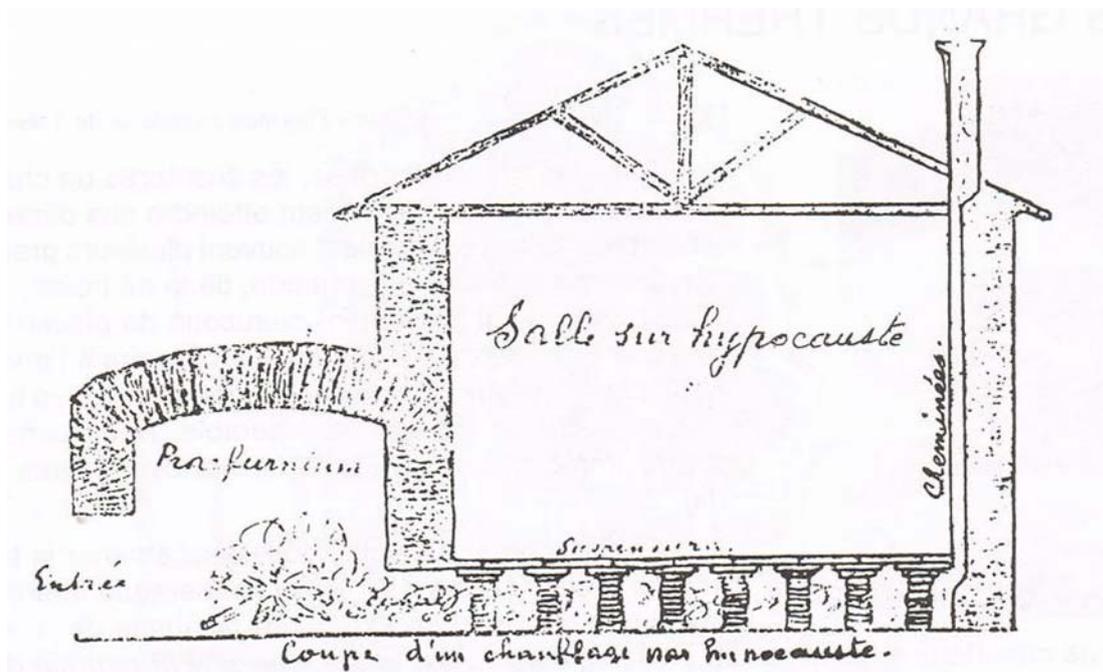
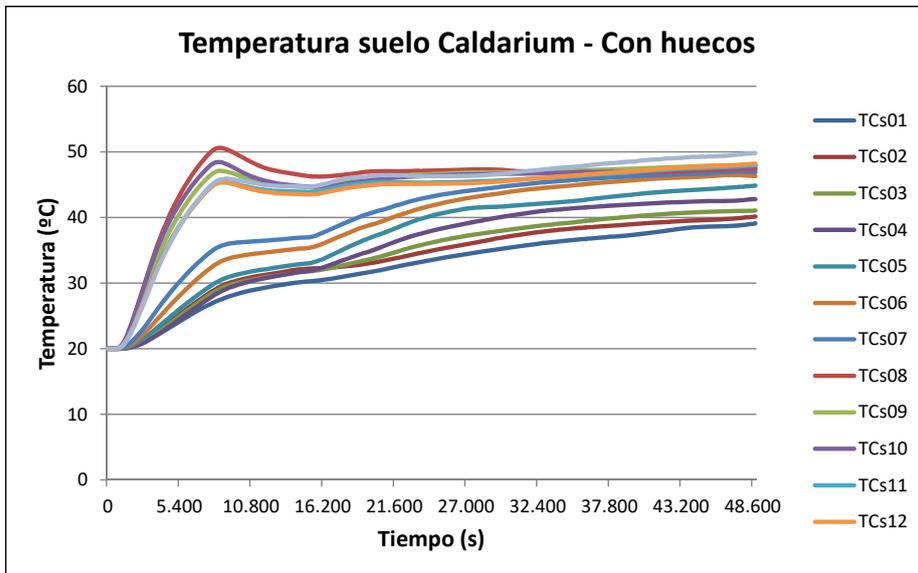
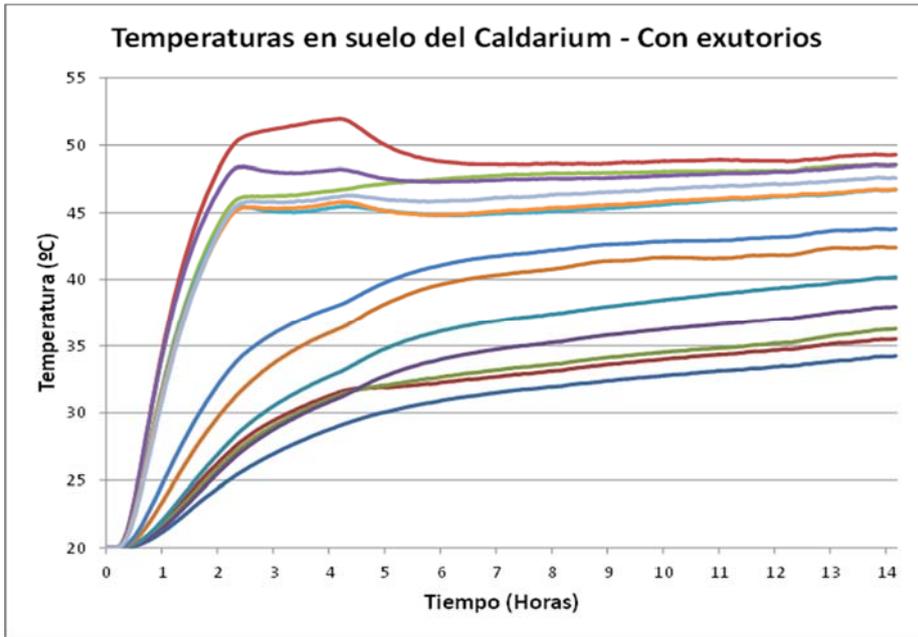


Ilustración 377. Detalle de la chimenea de comunicación con el exterior según Balter (Degbomont 1984, 33).

No es momento de entrar en consideraciones de criterios o de hipótesis de modelos arquitectónicos que ya han sido reflexionados por los arquitectos y arqueólogos de la obra, pero sí de ver la funcionalidad de ambos casos para determinar las temperaturas y el flujo para cada situación.

Por tanto, se realiza una simulación (Edeta500) y se compara con los resultados obtenidos en la simulación de referencia (Edeta202). Tras los resultados obtenidos podemos observar que las temperaturas alcanzadas son prácticamente iguales, aunque no existe uniformidad durante las primeras horas de puesta en marcha de la instalación. Es fácil suponer que si hubiéramos seguido con la simulación se hubieran podido extraer los resultados que se asemejaran entre ellos, pero evidentemente necesitarían un procesado de tiempo mucho mayor.



Tablas 67 y 68. Gráficas de los sensores de temperatura en el suelo según las distintas simulaciones.

Por lo que respecta a la velocidad de los flujos y a la cantidad de aire que sale por cada conducto, es necesario indicar que el modelo con los conductos que pasan por la cubierta estos son mucho más efectivos que los que salen por el paramento vertical, si lo que pretendemos es rapidez en alcanzar uniformidad de temperatura en el interior. Si por el contrario lo que buscamos es ahorro, el modelo que tiene un menor caudal de aire conseguirá que la combustión sea más lenta y por tanto se necesite menos combustible para conseguir una determinada temperatura.

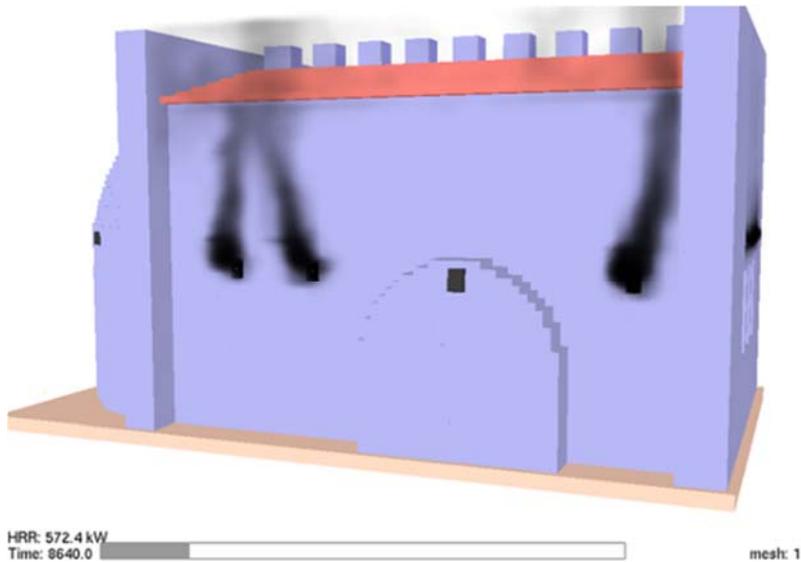


Ilustración 378. Imagen del modelo con los flujos de aire caliente por la fachada.

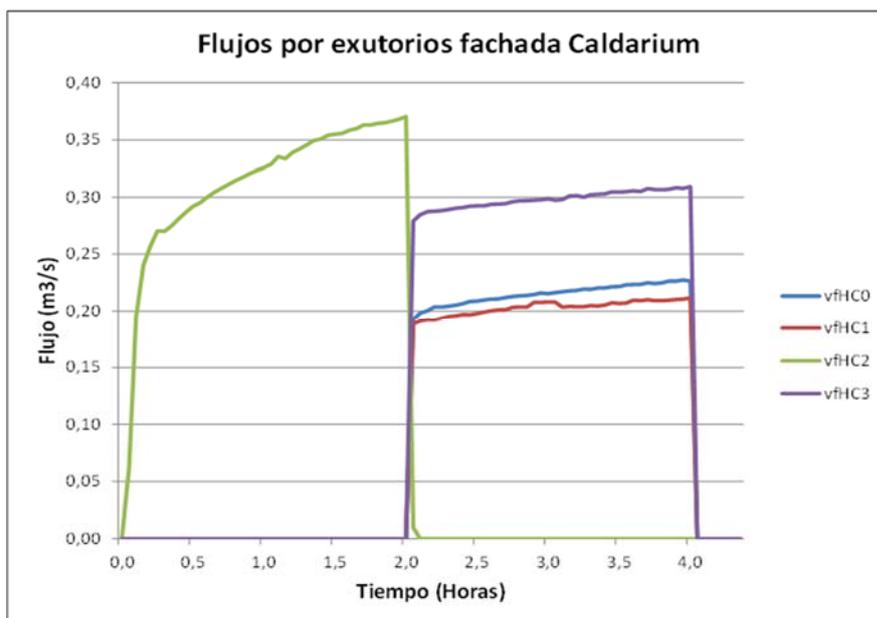


Tabla 69. Gráfica de los flujos en la simulación con los conductos por la fachada.

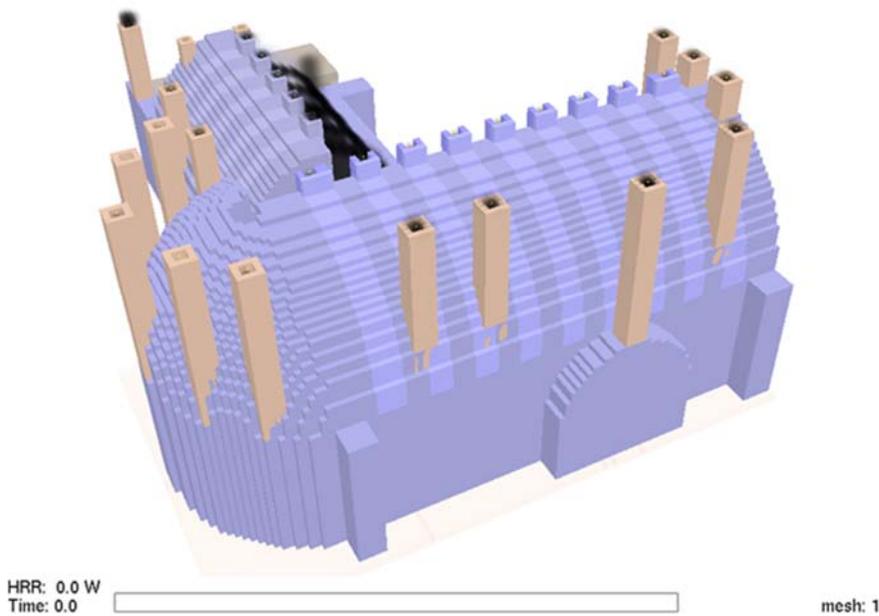


Ilustración 379. Imagen del modelo con los flujos de aire caliente por las chimeneas en cubierta.

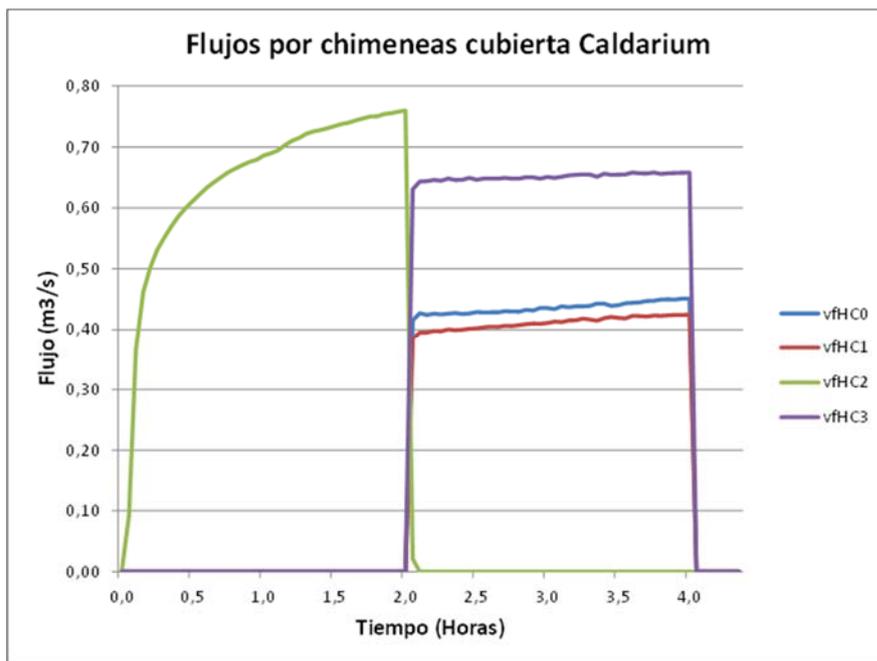


Tabla 70. Gráfica de los flujos en la simulación con los conductos por la cubierta.

### Conclusiones

Se comprueba que la velocidad de los flujos de gases que salen por las chimeneas son el doble que los que salen por los exutorios de fachada, por tanto, se demuestra que las chimeneas son mucho más efectivas para forzar la salida de gases calientes, consiguiendo hacer circular dichos gases hasta zonas más alejadas de los hornos. Si lo

que se busca es efectividad en la circulación y distribución de gases calientes por el hipocausto, el edificio deberá de tener chimeneas. Si el edificio tiene exutorios por fachada, la salida de humos no será tan efectiva, tendrá pues menos velocidad y menos flujo.

La diferencia de temperaturas en cada simulación no es considerable, pero sí la dispersión de valores según el registro de los sensores, de forma que sería necesario un mayor tiempo de encendido para poder tener los valores lo más homogéneos posibles.

Hay que pensar en factores intrínsecos a cada simulación. Es decir, la colocación de exutorios generaría una salida de humos que podría provocar manchar la fachada del residuo de dichos humos. Además, se tendrían que disponer mecanismos de apertura y cierre para el control de dicha salida.

Se podría suponer una solución conjunta en la que se dispusieran exutorios por las fachadas perimetrales, pero manteniendo las chimeneas en las salidas del *hypocaustum*, de esta forma se conseguiría que los gases calientes circulen hacia el ábside y que las aperturas en la fachada funcionasen como salida de la *concameratio*.

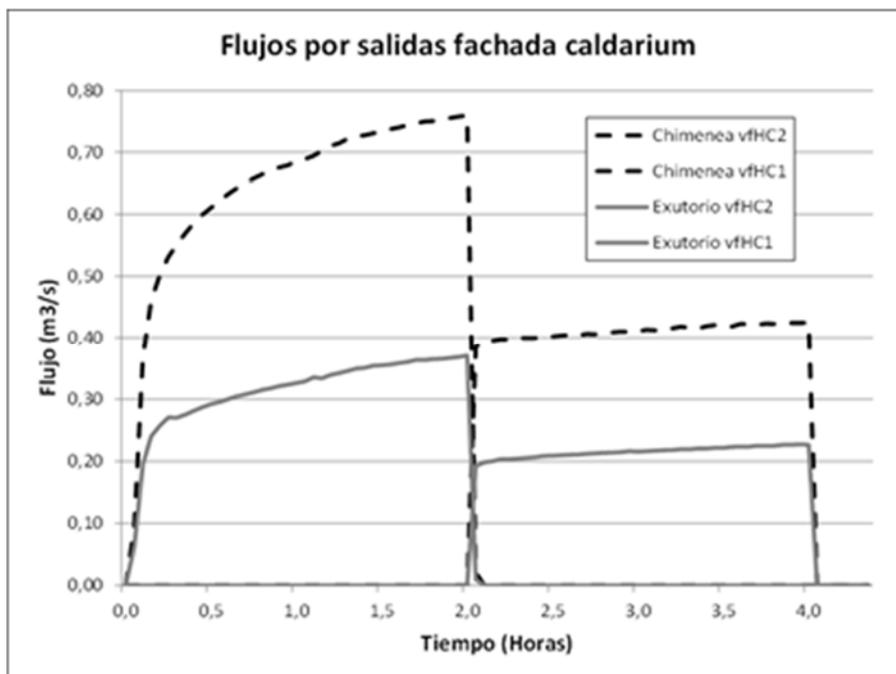
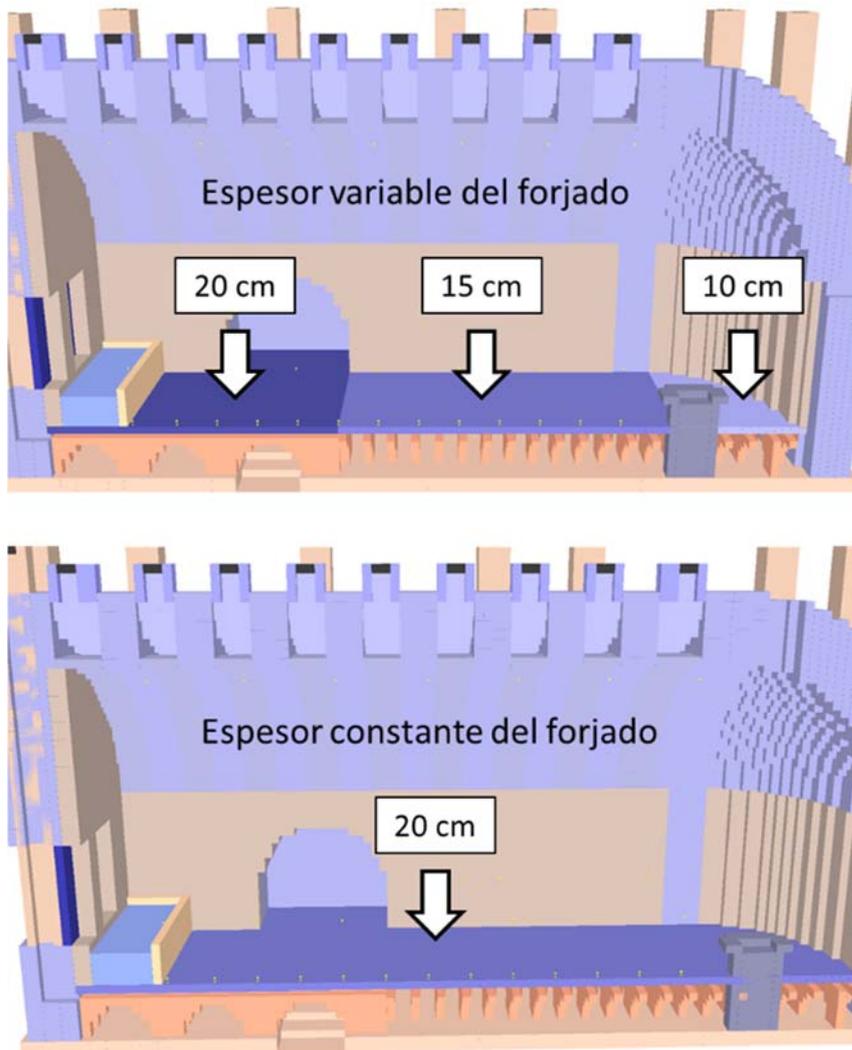


Tabla 71. Comparativa de las gráficas de los flujos según cada una de las simulaciones.

## Hipótesis 12. Simulaciones Edeta51 y Edeta52

### Objetivos

Determinar si variando el espesor del suelo se puede conseguir una efectividad mayor de la temperatura en el interior del *caldarium*.



Ilustraciones 380 y 381. Sección del modelo con las distintas simulaciones.

### Discusión y resultados

Se estudia la diferencia entre utilizar un pavimento uniforme a lo largo de toda la sala del *caldarium* y utilizar un pavimento que reduce su espesor según se aleja de los hornos.

Se realizan dos simulaciones en las que se aplica la misma secuencia de encendido que se corresponde con la habitualmente utilizada (Edeta202).

La simulación Edeta51 considera todo el pavimento de 20 cm de espesor. La simulación Edeta52 se plantea con tres espesores distintos en todo el pavimento del *caldarium*: el pavimento cercano a los hornos con 20 cm de espesor, el pavimento de la zona central con 15 cm y el pavimento de la zona del ábside con 10 cm de espesor.

Esta hipótesis intenta si demostrar el espesor influye en la transmisión del calor de forma que pueda ser más rápido en aquellas zonas más alejadas al horno. También pretende demostrar que las temperaturas se uniformicen algo más en la simulación que tiene el pavimento con sección variable.

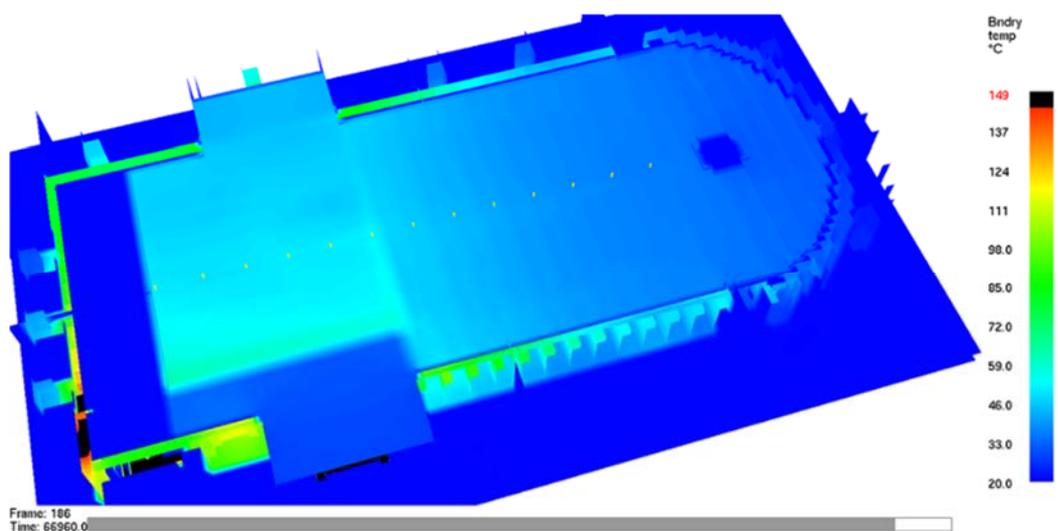
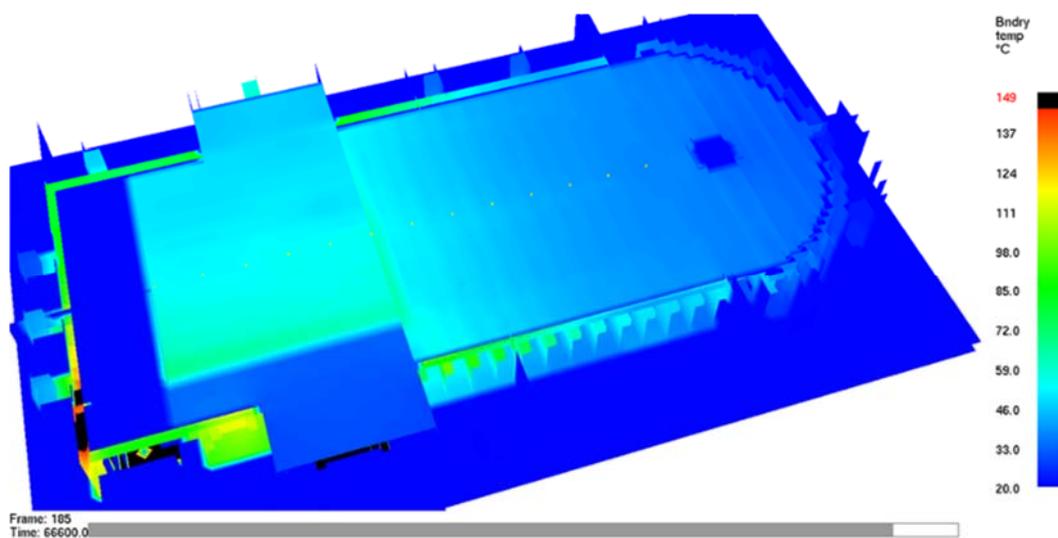


Ilustración 382 y 383. Temperaturas que se obtienen en el suelo del *caldarium* en cada una de las simulaciones.

Se observa que las variaciones no son muy significativas, pero sí que hay un aumento de unos 5 grados en la zona del *caldarium* más alejada de los hornos.

Esta diferencia se observa mejor si se comparan las temperaturas en un único punto.

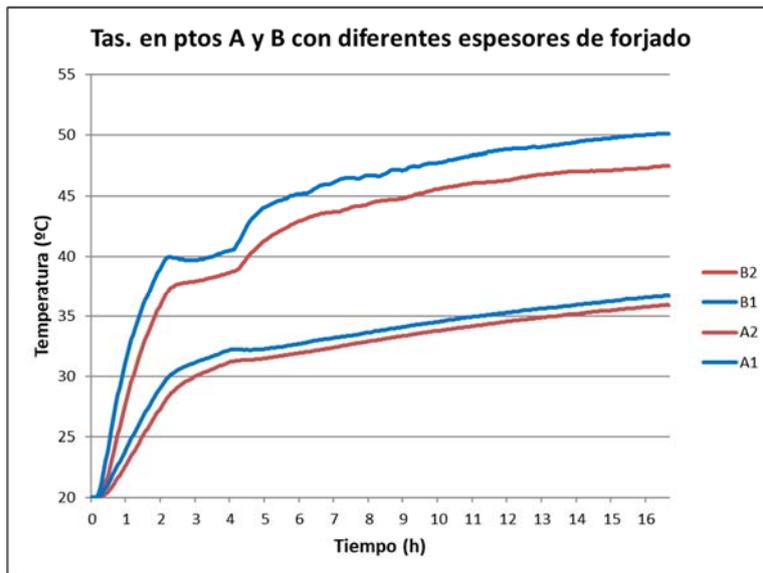
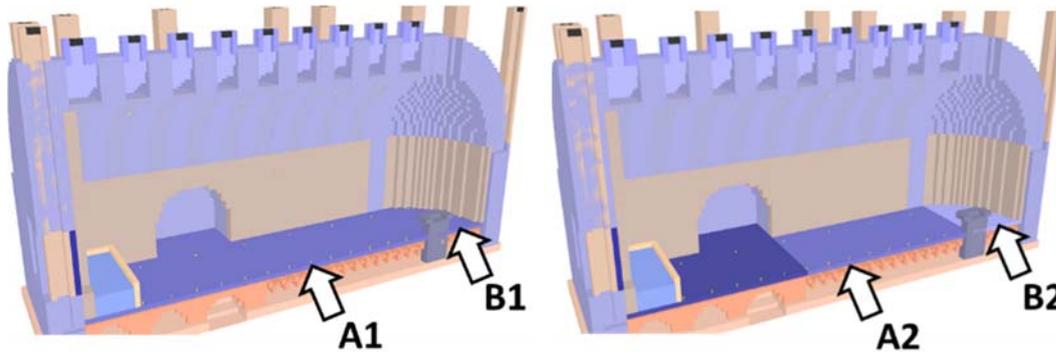


Ilustración 384. Gráfico que compara las temperaturas en dos sensores en cada una de las simulaciones.

### Conclusiones

Se observa que hay diferencias de unos 3 grados en el centro de la nave con espesores de 20 y 15 °C

En el extremo de la nave la diferencia es de un único grado a pesar de que las diferencias de espesor en esta zona son de 10 cm, entre 20 y 10 cm.

Se concluye que la disminución en el grosor del forjado consigue una mejor distribución de las temperaturas.

### Hipótesis 13. Simulación Edeta202fb

#### Objetivo

Determinar sobre la hipótesis de funcionamiento Edeta202 un mayor tiempo de procesado con un apagado completo de la instalación y una nueva puesta en marcha transcurrido un día completo.

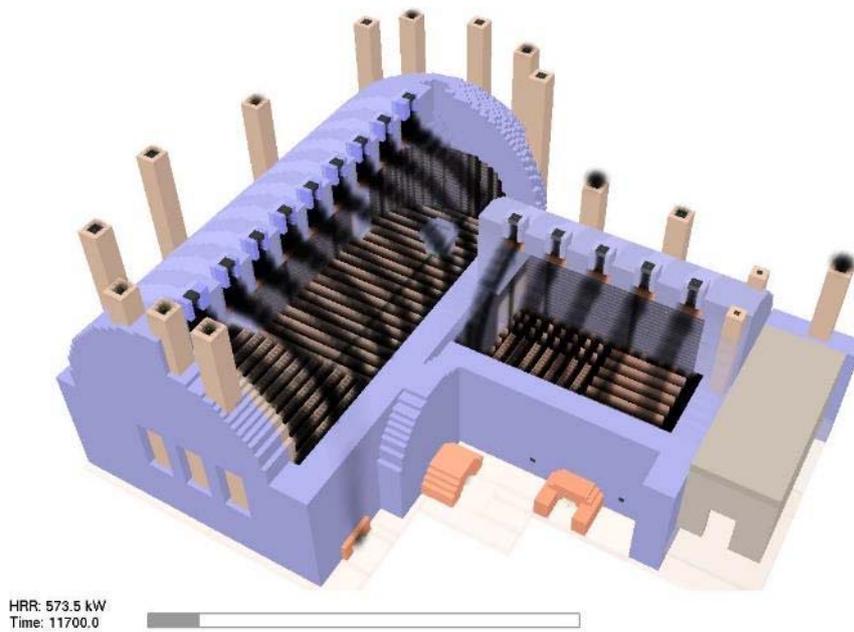


Ilustración 385. Sección del modelo en la primera fase de encendido.

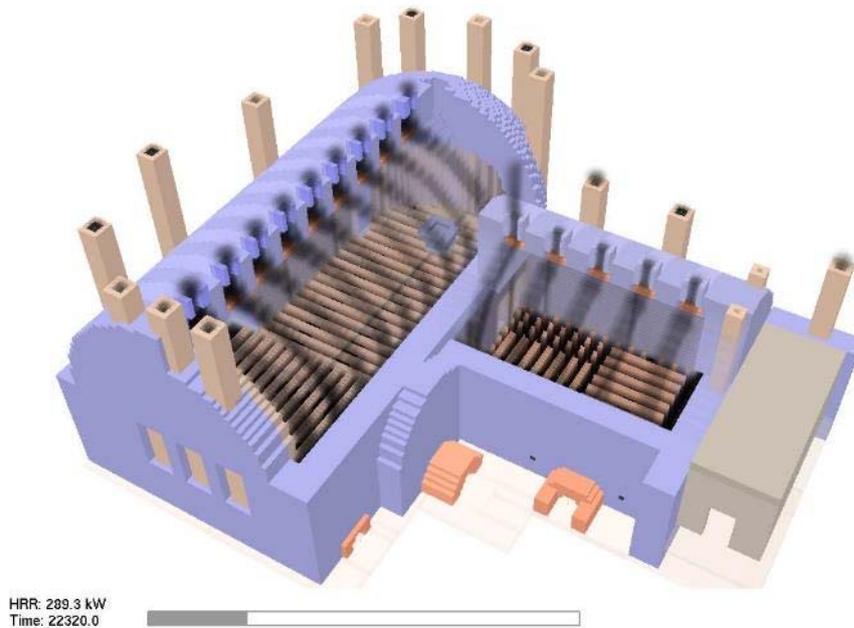


Ilustración 386. Sección del modelo en la segunda fase del encendido.

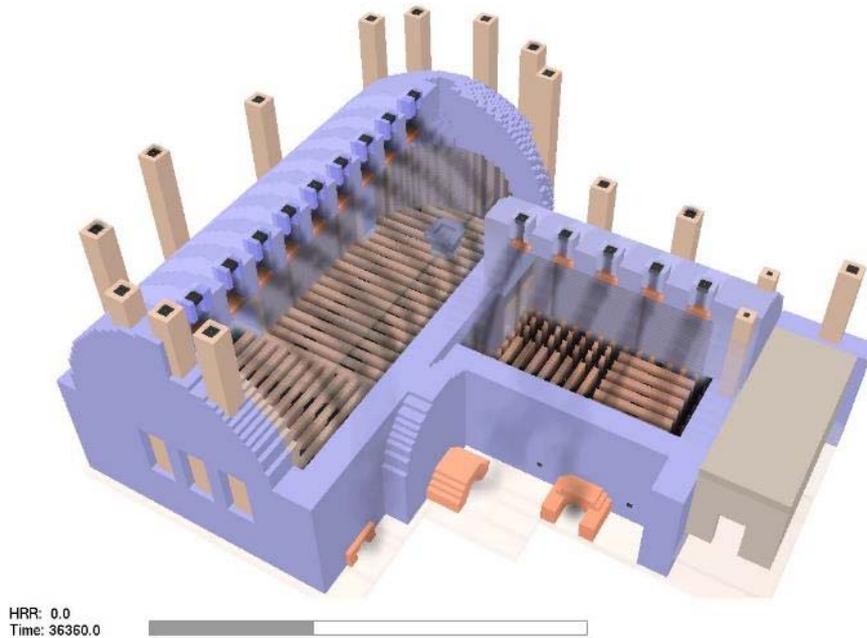


Ilustración 387. Sección del modelo en la fase de apagado.

### Discusión y resultados

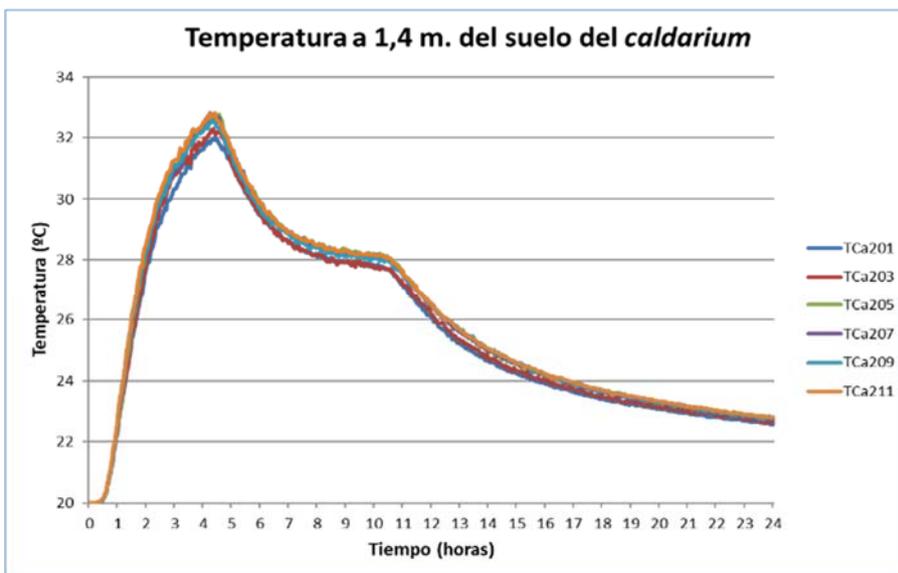
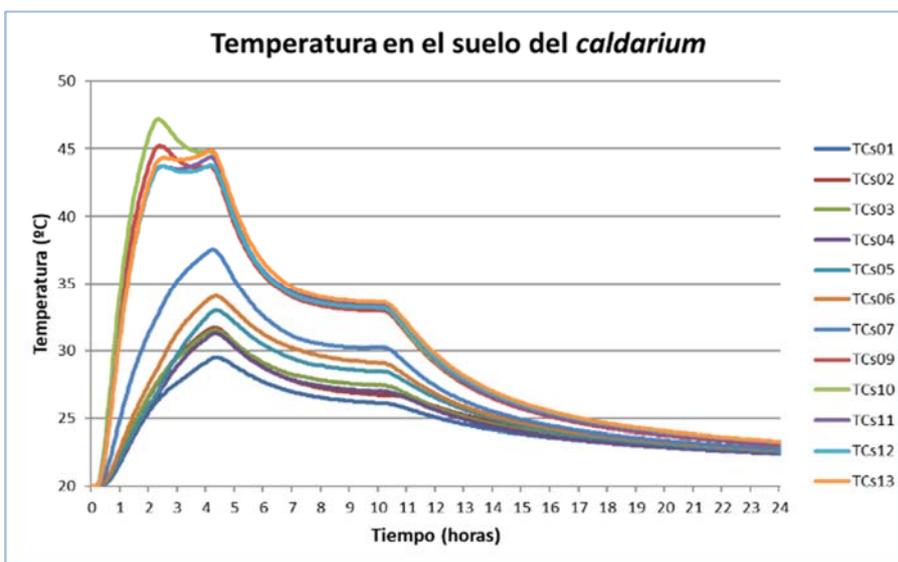
Sobre la simulación Edeta202 se programa una nueva llamada Edeta202fb en la que se planifican las siguientes aberturas de los conductos y el encendido y apagado de los hornos para poder tener un ciclo completo de un día entero. La distribución de los encendidos se realiza siguiendo las especificaciones ya comprobadas en la hipótesis 6 y que establece una secuencia de aberturas de conductos como se describen la gráfica siguiente. En dicha gráfica se identifica con una A cuando el conducto está abierto. Hay que decir que esta secuencia tan solo es necesaria en el momento de arranque de la instalación o después de una fase larga de apagado de la misma. El cálculo realizado en esta simulación establece un encendido a las 7:00 horas de la mañana con una potencia de calor de 560 kW y con solo tres de los conductos abiertos (los que corresponden a la dirección del horno). A las dos horas y con la misma potencia de calor se cierran dichos conductos y se abren los existentes en los muros. A las dos horas siguientes y coincidiendo con la apertura de la instalación al público (aproximadamente a las 11:00 horas) se abren los conductos de la bóveda y se reduce la potencia de calor a la mitad. Ocho horas después y coincidiendo con las 17:00 horas —hora de cierre de las termas—, todos los conductos se tapan, se deja de alimentar con combustible al horno y se cierra también la boca del mismo. De esta manera se mantiene el calor de la instalación hasta el día siguiente en el que se repetiría la última parte de la secuencia.

	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				
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
	<b>560 Kw</b>	<b>560 Kw</b>	<b>280 Kw</b>	<b>0</b>	<b>560 Kw</b>	<b>560 Kw</b>	<b>280 Kw</b>

Tabla 72. Gráfica donde se indica la abertura de los conductos según el tiempo transcurrido y la potencia calorífica de los hornos. La zona sombreada, tan sólo se repetirá en las ocasiones que la instalación se encuentre muy fría, para permitir, en varios días, la secuencia completa de arranque de la misma.

Los resultados obtenidos nos marcan la siguiente distribución de temperaturas en cada una de las salas.

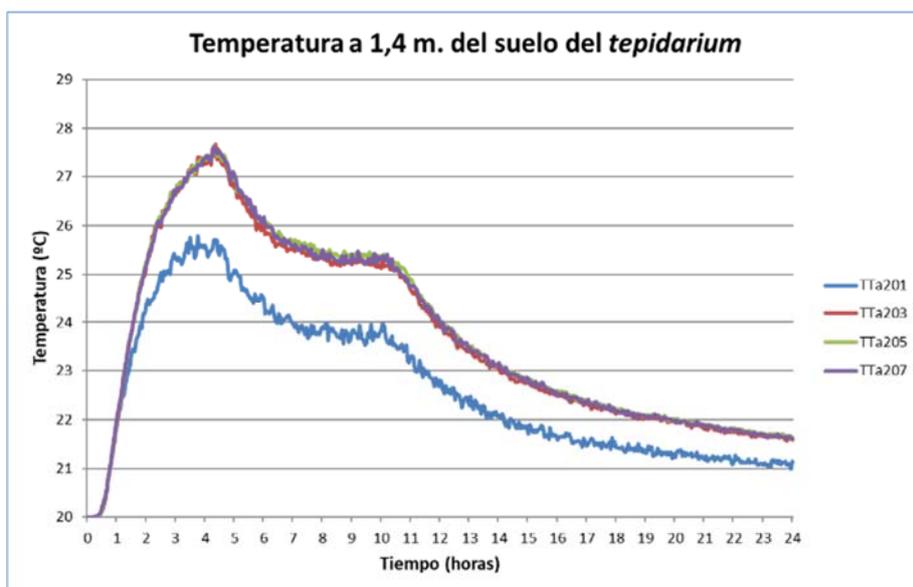
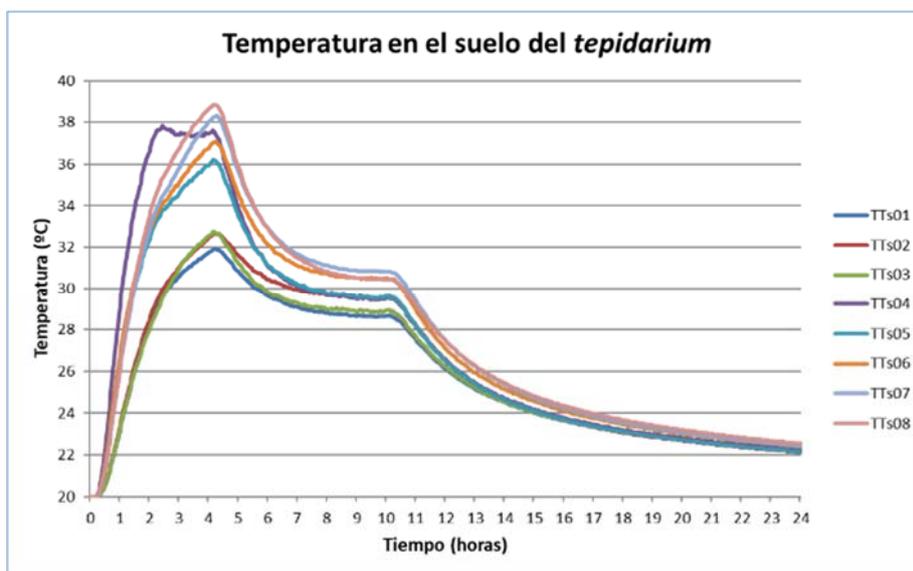
En el *caldarium* la temperatura máxima que se alcanza es de más de 45 °C, aunque hay zonas que no superan los 30 °C. Eso se debe a la falta de uniformidad de distribución del calor que se supone que existe en el momento de arranque de la instalación. La media de la temperatura del suelo de la sala estaría en torno a los 38-40 °C. A una altura de 1,4 m sobre el suelo se alcanzan valores menores que condicionan el confort de la sala. En estos puntos tenemos temperaturas más uniformes de todos los sensores y que alcanzan valores por encima de los 32 °C que junto con la humedad y el vapor que debería existir aumentaría la sensación térmica en varios grados más.



Tablas 73 y 74. Temperaturas de los sensores de la sala del *caldarium* en el suelo y a 1,4 m del suelo.

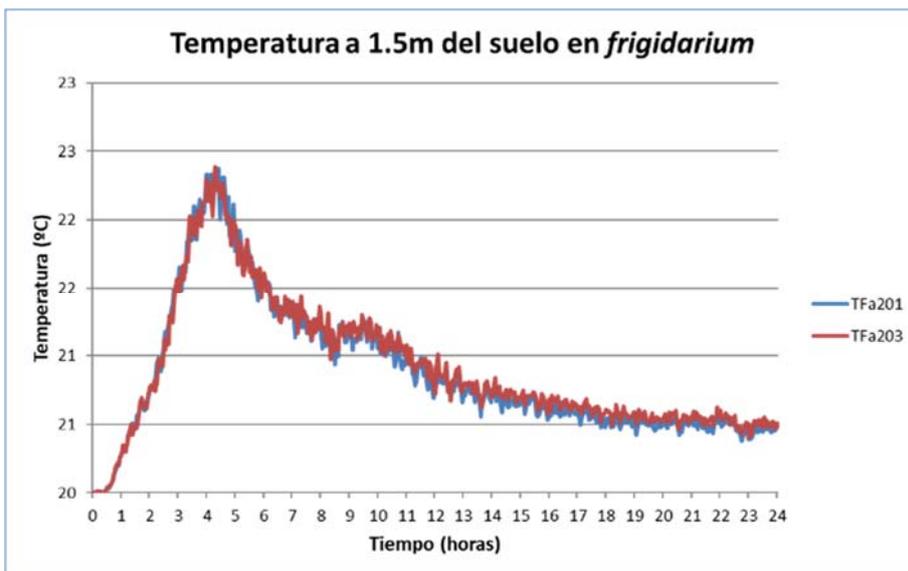
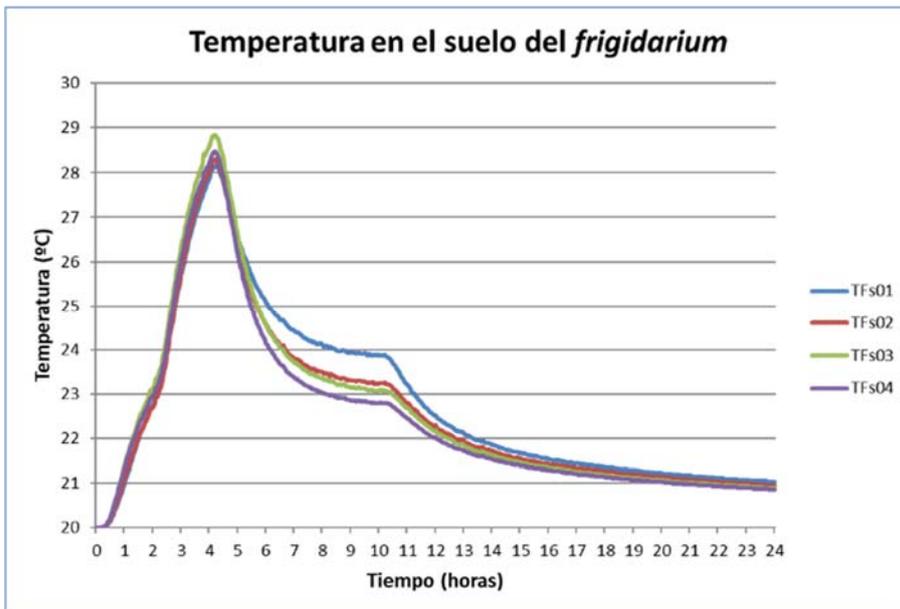
Los tres escalones que acusan las gráficas corresponden a las secuencias de aberturas de los conductos y sobre todo a la disminución de la tasa de emisión de calor durante los momentos descritos con anterioridad.

En el caso del *tepidarium* sigue la misma secuencia de las curvas de temperatura, aunque con un rango menor de las mismas debido a una circulación menor de caudal de aire caliente por el *hypocaustum*. El valor máximo es de 38 °C y el mínimo es de 32 °C en el momento de máxima carga térmica. A 1,4 m del suelo las temperaturas se uniformizan mostrando valores bastante confortables (en torno a 27 °C) y presentan una diferencia acusada entre los sensores situados más alejados del horno, que corresponde con la situación de la lámina de agua que existe antes de entrar al *caldarium*.



Tablas 75 y 76. Temperaturas de los sensores de la sala del *tepidarium* en el suelo y a 1,4 m del suelo.

La última de las salas y que corresponde con la primera sala termal según el itinerario desde la entrada, alcanza temperaturas mucho más bajas, prácticamente muy poco apreciables y que se manifiestan todavía con una menor diferencia a la cota de 1,4 m sobre el nivel del suelo. En esta sala las temperaturas máximas alcanzadas oscilan entre los 28 °C en el suelo y los 23 °C a 1,4 m del suelo.



Tablas 77 y 78. Temperaturas de los sensores de la sala del *frigidarium* en el suelo y a 1,4 m del suelo.

La imagen de temperaturas que se consiguen con la secuencia descrita es la siguiente:

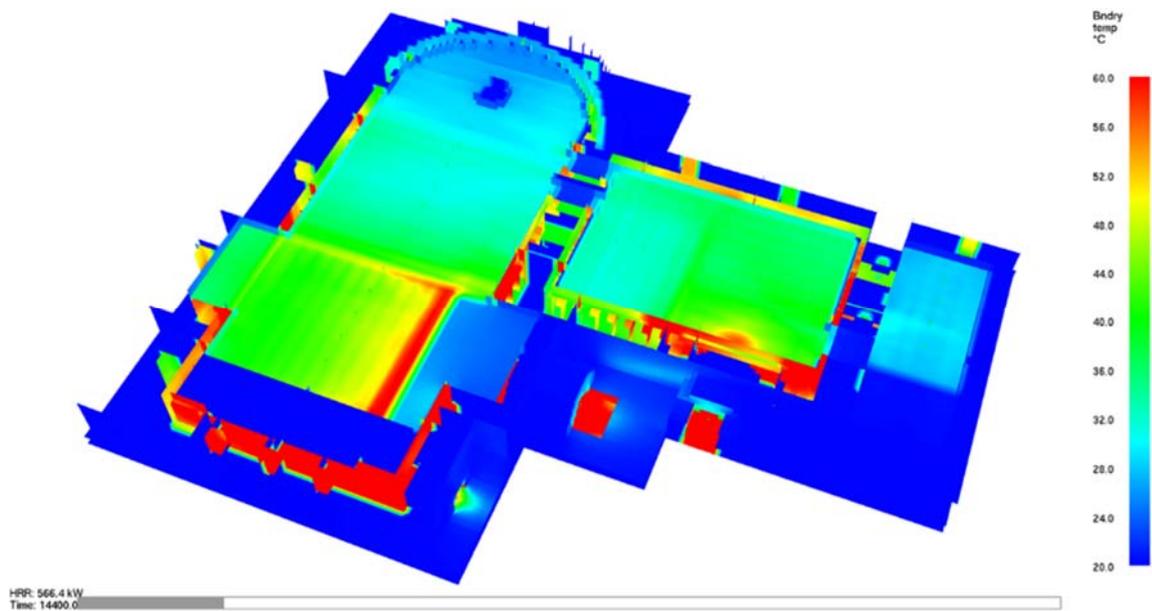


Ilustración 388. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las termas durante las cuatro primeras horas de funcionamiento (temperatura máxima).

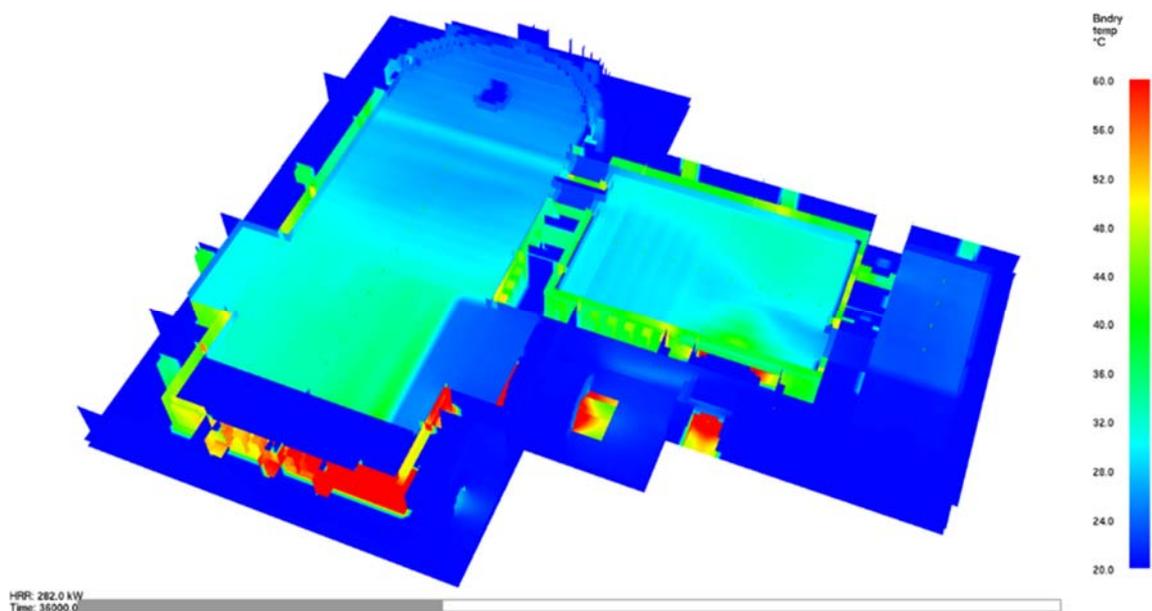


Ilustración 389. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las termas durante las horas en las que se está usando la instalación.

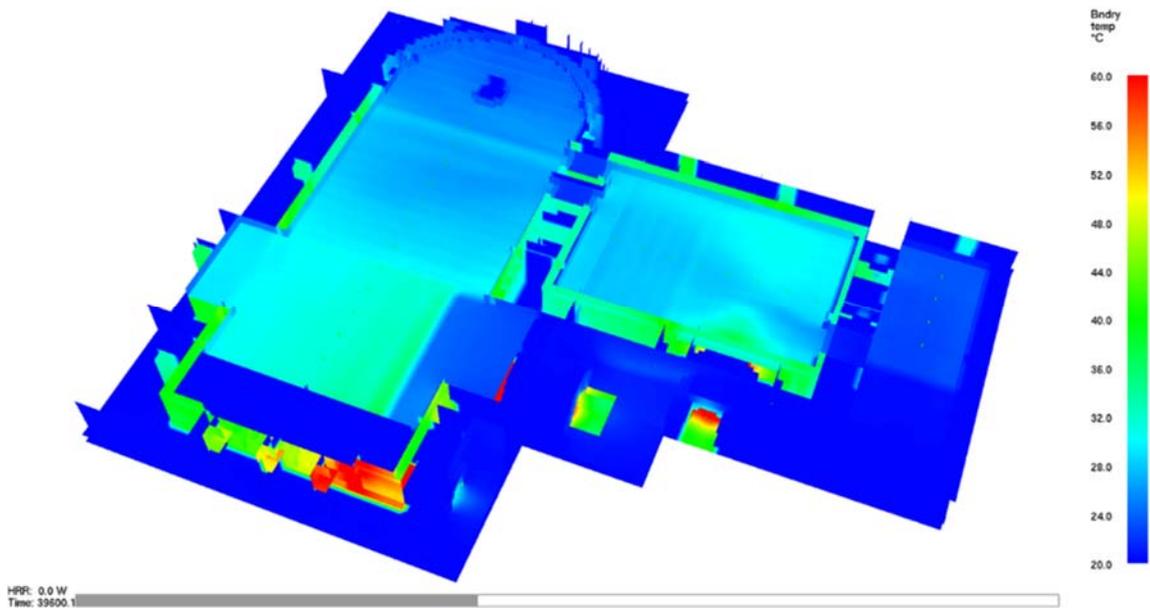


Ilustración 390. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las termas durante el inicio del proceso de apagado de los hornos y trascurrida una hora del cierre de la instalación.

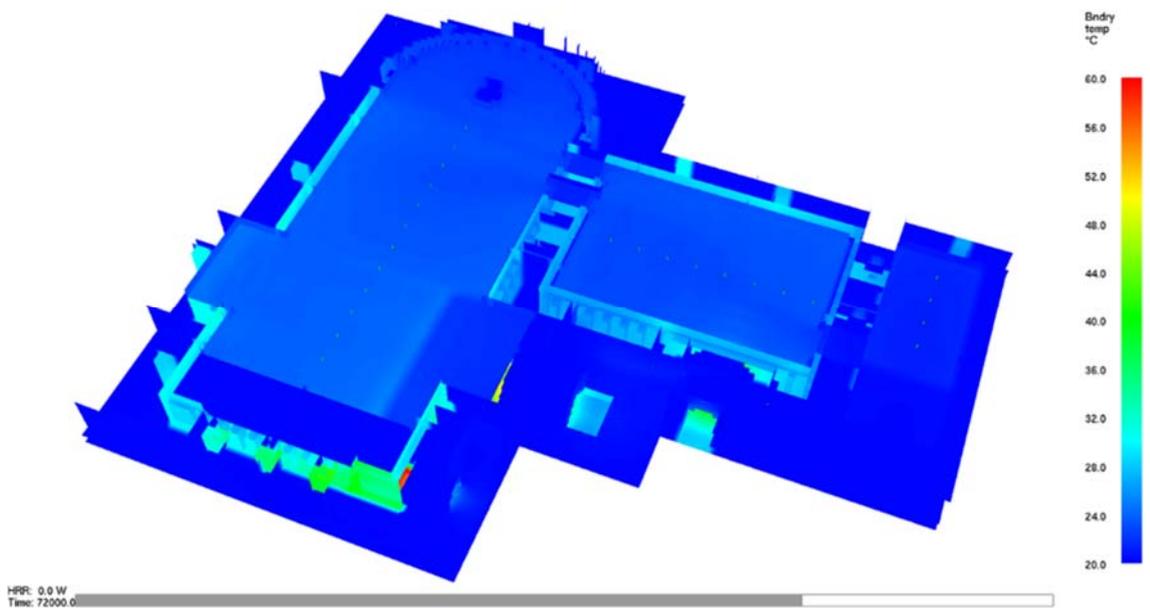


Ilustración 391. Temperaturas alcanzadas en el suelo de las termas durante el proceso final de apagado y antes del inicio del encendido 24 horas después del arranque (temperatura mínima).

## Conclusiones

La primera conclusión de esta hipótesis no demuestra que la secuencia de arranque consiga optimizar y alcanzar rápidamente la temperatura deseada en cada una de las salas, aunque en el caso del *caldarium* existe una falta de uniformidad de dichas temperaturas que se supone que se podrían alcanzar tras varios días de repetir la secuencia de encendido (zona sombreada de la gráfica en la que se explican las aberturas de los conductos, los tiempos y las potencias de calor de cada horno). Por ello tras las más de dos semanas de realización del procesado y cálculo de los datos, es muy probable que dicho comportamiento se uniformice gracias a la capacidad que tienen los materiales pétreos de acumular el calor. Esta suposición se podrá comprobar en investigaciones futuras que puedan marcar tiempos de procesado más cortos y en el cálculo de modelos tan complejos.

La segunda conclusión nos demuestra que un ciclo completo de 24 horas no es suficiente para arrancar la instalación y que se necesitan varios días para poder determinar su correcto funcionamiento.

La tercera conclusión es la de identificar las temperaturas máximas en cada sala y que van aumentando desde el *frigidarium* hasta el *caldarium* con una diferencia entre las mismas de unos 5-8 °C.

## 6. CONCLUSIONES FINALES

### Conclusiones generales

Dentro de la tipología de las termas romanas descritas por todos los investigadores, se identifican tres esquemas con pequeñas variaciones que representan el conjunto de distribuciones del Imperio romano. Estos esquemas determinan modelos de termas que nunca repiten, ya que se adaptan a las circunstancias propias del lugar. Las termas mayores de Mura siguen un modelo axial con recorrido retrógrado.

Las influencias de las civilizaciones anteriores a la romana son reinterpretadas y reintegradas por los ingenieros y constructores romanos, determinando modelos únicos que intentan estandarizar con sistemas constructivos y disposición de materiales. Las termas de Mura siguen patrones similares a las termas Stabiae de Pompeya o a las termas de Weißenburg en Baviera (Alemania).

Las termas eran construcciones gestionadas en la mayoría de casos como edificios públicos debido al gran coste de construcción y de mantenimiento. Si se compara con el valor de construcción de la terma de Neptuno en Ostia Antica, podemos calcular el valor de construcción de las termas mayores de Mura en 1,6 millones de sestercios, es decir, unos 2,5 millones de euros, aproximadamente, al cambio actual.

### Conclusiones sobre el contexto urbano e histórico de la ciudad de Edeta y las termas

La distribución urbana de la ciudad de Edeta va ligada a la adaptación a la orografía del terreno, constituyendo plataformas horizontales excavadas o aterrazadas, donde se van asentando las casas, calles y demás construcciones.

La ubicación de las termas dentro de la ciudad se establece en los límites de la ciudad constituida en la época Flavia, cercana a las principales vías de comunicación y sobre todo a la orografía, que permite la distribución del agua desde el manantial de la fuente de Sant Vicent.

La construcción del complejo termal está ligada a la ubicación junto el santuario oracular del que formará parte junto con las construcciones relacionadas como la *hospitia* y las *tabernae*.

La datación de la construcción de las termas se sitúa a finales del siglo I d. C. coincidiendo con el poder que el personaje local, Marco Cornelio Nigrino, había

alcanzado en los estamentos de poder del Imperio. El abandono y amortización de las mismas se sitúa a finales del siglo III d. C.

### Conclusiones de materiales y sistema constructivos

La gran variedad del material latericio empleado en la construcción del complejo termal, evidencia un gran oficio, tanto en la manufactura como en la ejecución y utilización del mismo. La diversidad de la tipología de ladrillo sigue la estandarización impuesta por el imperio, pero mantiene variaciones de dimensiones en piezas destinadas para un mismo uso. La utilización de piezas especiales dispuestas entre los sistemas de ventilación de la *concameratio* y las piezas realizadas para la formación de las arcadas del *hypocaustum* son características de esta adaptación.

Las piezas metálicas encontradas se sitúan en los anclajes de las piezas cerámicas dentro de los distanciadores cerámicos con forma cilíndrica y que protegen por completo las piezas para evitar el calentamiento (dilataciones y contracciones) y la oxidación y corrosión de las mismas.

El escaso material vítreo encontrado identificaba la situación de ventanales orientados al norte de forma que podría entrar la luz, pero no el sol.

Los pétreos empleados siguen los cánones ya indicados de aprovechamiento del material que existe en las proximidades, marcando distintos aspectos funcionales que hay que destacar. De las distintas variedades de pétreos empleados en la construcción de los edificios, predomina la utilización de tres tipos. Dos variedades de piedra caliza local con características muy distintas. La primera con una densidad menor capaz de resistir los cambios térmicos bruscos y que se utiliza para la zona donde se produce el fuego. La segunda variedad de caliza, de una compacidad y densidad mayor, que se utiliza para los muros con capacidad portante y estructural (ver Anexo). Las otras variedades de pétreos encontradas corresponden a sillares de arenisca silíceas utilizados en los muros, piedra de Alcublas —utilizada para las zonas con mayor desgaste como las escaleras y umbrales— y la piedra de Buixcarró para temas compositivos y ornamentales.

Las salas calefactadas de las termas mayores de Mura poseen como característica singular la canalización de los conductos de ventilación del aire caliente de la *concameratio* mediante piezas especiales de ladrillos y dovelas de piedra caliza labradas en forma de U para permitir el conducto de ventilación hasta la chimenea de evacuación.

El análisis estructural realizado en la sala del *caldarium* establece que era necesaria la ejecución de un muro que ejerce de contrapeso y de relleno de los senos de las bóvedas para mantener la estabilidad del conjunto.

#### Conclusiones sobre el sistema hídrico

El abastecimiento de la terma se realizaba desde la fuente de Sant Vicent, con caudal más que suficiente para abastecer no solo a las termas sino a toda la ciudad, con un consumo estimado de 250 litros de agua por habitante al día.

La capacidad de surgencia de la fuente de Sant Vicent llegaría a poder suministrar a una población de 150.000 habitantes.

La distribución se realiza mediante una conducción en la que el *specvs* funciona al 35 % de carga, con un caudal con una velocidad de 0,3 m/s (inferior al límite de 0,5 m/s que podría dañar la conducción).

El sistema de evacuación se realiza mediante unas galerías interconectadas para poder evacuar con una pendiente mayor a la recomendada y con una capacidad que supera cualquier recomendación escrita en los tratados.

#### Conclusiones sobre el sistema térmico

Se ha podido demostrar mediante un balance de energía en condiciones estacionarias sobre la pieza original de las termas los valores reales de todos los parámetros necesarios para calcular la conductividad térmica de la suspensura, obteniendo un valor de  $k = 0,85 \text{ W/m K}$ .

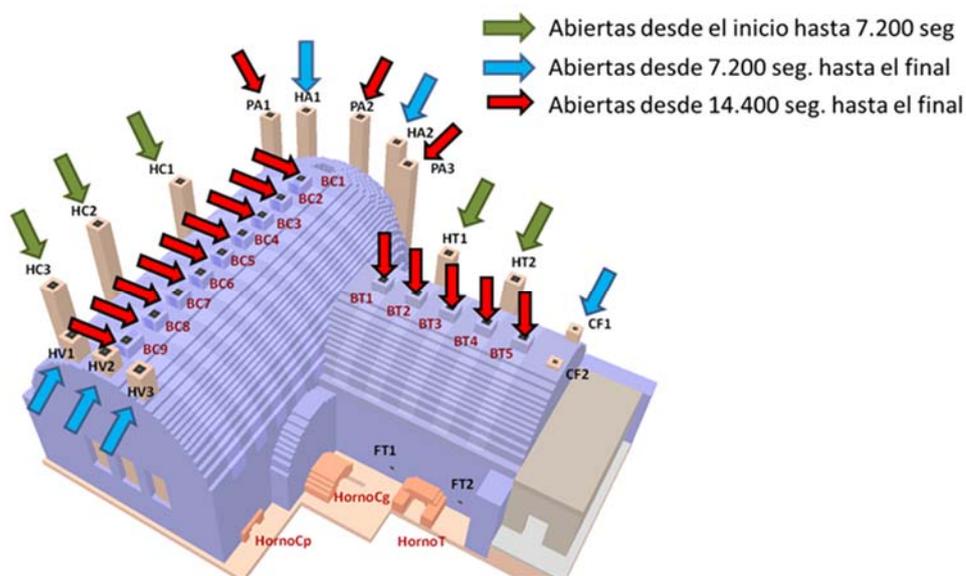
Se ha estimado el calor disipado en la zona de la probeta, igual al conducido en condiciones estacionarias. Previamente se ha comprobado que el ensayo es válido ya que existe menos de un 5 % de diferencia entre las pérdidas captadas con la cámara térmica, los valores obtenidos mediante los cálculos teóricos y la potencia eléctrica aplicada a la resistencia eléctrica.

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.

Del experimento realizado a los tres tipos de piedra se ha podido identificar el correcto uso de cada variedad atendiendo a sus características y resistencias, tanto a las temperaturas del fuego en un caso, como a las resistencias mecánicas en otro.

### Conclusiones sobre el funcionamiento del complejo

La asimetría de los hornos con respecto a la distribución de los hipocaustos de las salas, mantiene un equilibrio funcional debido al movimiento por convección del aire que entra y calienta los materiales que tiene a su paso. Para que este movimiento suceda de una forma óptima y eficiente, debe de seguirse el siguiente protocolo:



Cuatro horas antes de la apertura de la instalación se ponen en funcionamiento los tres hornos con una potencia calorífica total de 560 kW (aproximadamente 120 kg de madera a la hora entre los tres hornos, es decir 60 kg para el horno grande y 30 kg para los pequeños) y con los conductos más cercanos a los hornos abiertos. A las dos horas se abren los más distantes, cerrando los anteriores. Durante las siguientes 2 horas se abren los conductos de las bóvedas teniendo la instalación perfectamente calefactada.

La temperatura del suelo del *caldarium* es de 40 a 45 °C, la del *tepidarium* de 34 a 38 °C y la del *frigidarium* en torno a unos 28-32 °C.

Los huecos de comunicación entre salas son sumamente importantes, tanto los situados al nivel de los *hypocaustum* como los situados entre las distintas salas.

El óculo central del *caldarium* tiene la misión de hacer salir el aire caliente permitiendo la entrada de aire frío y renovando la condición ambiental del interior de la sala.

El hueco existente en el ábside del *caldarium* no tiene una misión térmica, sino de mantenimiento y enfriamiento de la instalación.

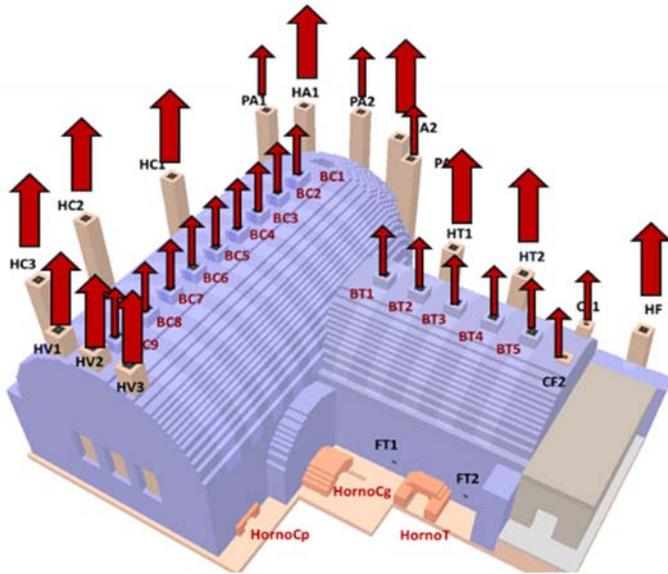
El muro exterior y la bóveda reproducen las condiciones de la piedra caliza sedimentaria que reproduce el macizado de los muros tan importantes para acumular el calor por su densidad y por su espesor, a excepción de la sala del *frigidarium*. Además no genera una diferencia de temperatura entre los encendidos y apagados diarios. Y también para evitar las condensaciones que se puedan generar debidas a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior.

Siempre enfrentado a un horno hay una salida de ventilación, muy importante en las fases de encendido, ya que permite que el aire circule y que, por tanto, entre por la boca de la cámara de combustión.

El *praefurnium* está diseñado con un arco pequeño que produce una entrada forzada de aire, consiguiendo una combustión óptima de los gases debido al efecto horno (aumento de la radiación sobre el combustible). Con ese efecto se consigue:

1. Que se genere muy poco humo al ser una combustión perfecta. Es humo que no molesta, ni ensucia ni contamina.
2. Que se aproveche mucho más la energía del combustible. “Menos madera”.
3. Se deposita mucha menos carbonilla en el techo del *praefurnium* y la conducción es mejor y tiene que hacerse menos mantenimiento.
4. Se pueden utilizar combustibles ligeros, normalmente madera de los bosques próximos (pinos, abetos o encinas). Si se utiliza romero y tomillo se desprende olor pudiendo servir de reclamo.
5. La entrada forzada del aire inyecta más fácilmente los gases hacia el fondo de la instalación y se distribuyen mejor las temperaturas.
6. 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.
7. Un árbol pesa aproximadamente entre 300 y 500 kg. Se necesita un árbol para las 4 primeras horas y otro para las siguientes 6 horas. 2 árboles por día. 700 árboles al año.
8. La densidad media por hectárea es de 1000 árboles, por tanto, en 3 años se han consumido 2100 árboles, es decir, aproximadamente 2 Ha
9. Si se estipula que en 30 años se regenera un bosque, la superficie total afectada por la tala para el uso de la madera como combustible es de 20 Ha

De la última hipótesis se ha podido asumir que el arranque de la instalación necesita de un mayor aporte energético que podrá variar y disminuir según la secuencia planteada conforme la edificación consiga acumular el calor en sus muros.



	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				
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
	<b>560 Kw</b>	<b>560 Kw</b>	<b>280 Kw</b>	<b>0</b>	<b>560 Kw</b>	<b>560 Kw</b>	<b>280 Kw</b>

## 7. INVESTIGACIONES FUTURAS

Las investigaciones que se plantean continuar a raíz de la presente tesis son las siguientes:

- Comparar la construcción del complejo termal con las tipologías existentes en las zonas del Imperio situadas en tierras del próximo Oriente y el norte de África, dada la relación del personaje relacionado con la construcción de las mismas, Marco Cornelio Nigrino, que llegó a ser gobernador de dichas tierras.
- Seguir con la comprobación de los modelos arquitectónicos introducidos mediante los programas computacionales, duplicando el tiempo de cálculo y procesado de las simulaciones para establecer el habitual funcionamiento una vez la instalación ya se encuentra en marcha.
- Realizar un estudio de la estabilidad estructural de todo el complejo mediante el análisis por programas basados en elementos finitos y que permitan determinar las necesidades estructurales constructivas necesarias en este tipo de instalaciones.



## 8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

### REFERENCIAS

- Acocella, A. (2013). *Stile Laterizio II. I Laterizi cotti fra Cisalpina e Roma*.
- Adam, J. P. (1996). *La construcción romana: materiales y técnicas*. León: Editorial de los oficios.
- Alcaide, J. L., Civera, M. D. y Soler, A. (2009). *La piedra de Alcublas: aplicación en patrimonio histórico y en la arquitectura vernacular local* (Alcublas Escribe). Alcublas: Ayuntamiento de Alcublas.
- Alfayé, S. y Marco, F. (2014). "Santuarios en canteras y romanización religiosa en Hispania y Gallia", en J. Mangas y M. A. Novillo (ed.): *Santuarios suburbanos y del territorio de las ciudades romanas. Monografías del ICCA., Monografías del ICCA*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Álföldy, G. y Halfmann, J. (1973). *El edetano Cornelius Nigrinus Curiatius Maternus, General de Domitiano y rival de Trajano*. Serie de Trabajos Varios del SIP, 44. València: Museu de Prehistòria de València.
- Álvarez Melero, A. (2013). "Los praefecti fabrum oriundos de las provincias hispanas. Una nueva aproximación", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, 26.
- Aranegui Gascó, C. (1995). "Los monumentos funerarios romanos descubiertos en Edeta (Lliria, Valencia)", *Sagvntvm*, 29. Valencia.
- Arenales de la Cruz, R. (2009). "Vientos, rumbos y direcciones en el horizonte. El nacimiento de una terminología científica en el Renacimiento", *Cuadernos del Instituto de Historia de la Lengua*, 3.
- Aupert, P. (1991). "Les thermes comme lieux de culte", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romains). Roma: Ecole française de Rome.
- Bargelini, P. (1991). "Le Terme Centrali di Pompei", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romaines). Roma: Ecole française de Rome.
- Bonet Rosado, H. (1995). *El Tossal de Sant Miquel de Lliria: la antigua Edeta y su territorio*. Valencia: Diputació de València. Servicio de Investigación Prehistórica.
- Bouet, A. (2007). "Les thermes de Barzan (Charente-Maritime)", *Dossiers d'Archéologie*, 323 (Les thermes en Gaule Romaine).
- Brodribb, G. (1987). *Roman brick and tile*. Gloucester: Alan Sutton Publishing.

- Broise, H. (1991). "Vitrages et volets des fenestres thermales à l'époque impériale", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romains).
- Cameron, C. (1772). *The baths of the romans, explained and illustrated with the restorations of Palladio corrected and improved*. Londres: George Scott.
- Caracuta, V., y Fiorentino, G. (2011). "Wood for fuel in Roman hypocaust baths: new data from the Late-Roman villa of Faragola (SE Italy)", en *Wood and charcoal. Evidence for human and natural history (Saguntum Extra, Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia, 11)*.
- Carcopino, J. (1989). *La vida cotidiana en Roma en el apogeo del Imperio*. (M. Fernández Cuesta, trad.) (2001.<sup>a</sup> ed.). Madrid: Temas de Hoy.
- Carrillo Díaz Pinés, J. R. (1990). "Técnicas constructivas en la villa romana de El Ruedo (Almedinilla, Córdoba)", *Anales de arqueología cordobesa*, 1. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=653953>
- Castillo García, C. (1983). "Un trienio de epigrafía latina en hispania. Logros y perspectivas", en *Unidad y pluralidad en el mundo antiguo: actas del VI Congreso Español de Estudios Clásicos (Sevilla, 6-11 de abril de 1981)*. Madrid: Gredos. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1195292>
- Castro Villalba, A. (1995). *Historia de la construcción arquitectónica*. Barcelona: Editorial UPC.
- Cebrián Fernández, R., y Escrivà Torres, V. (2001). "La piedra de Buixacarró en las obras públicas de Valentia", *Saguntum, Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 33. Valencia: Universitat de València.
- Choisy, A. (1999). *El arte de construir en Roma*. (S. Huerta Fernández y F. J. Girón Sierra, eds., M. Manzano-Monís López Chicheri, trad.). Madrid: Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá: Editorial Nomos S. A.
- Connolly, P. (1994). *Pompeii*. Oxford University Press.
- Corell Vicent, J. (1996). *Inscripcions romanes d'Edeta i el seu territori*. Valencia: Nau llibres.
- Corell Vicent, J. (2008). *Inscripcions romanes del País Valencià. IV. Edeta i el seu territori*. Valencia: Universitat de València.
- Cunliffe, B. (2009). *Roman Bath discovered*. Stroud (UK): The History Press.

- Daremberg, C. V., y Saglio, E. (1900). *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines*. Paris: Librairie Hachette et C.
- Degbomont, J. F. (1984). *Le chauffage par hypocaustum dans l'habitat privé. De la place de St. Lambert-Liège-l'Aula Palatina de Trèves*. *Etudes et Recherches Archéologiques de l'Université de Liège*, 17.
- DeLaine, J. (1997). *The baths of Caracalla. A study in the design, construction, and economics of large-scale building projects in imperial Rome*. *JRA Inter.*, 25.
- Drinkwater, J. F. (1987). *The Gallic empire. Separatism and continuity in the north-western provinces of the Roman empire A.D.260-274*. Stuttgart: Steiner.
- Dufour, A. (2006). *Simulación mediante la mecánica computacional de escenarios de incendios reales en recintos industriales*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Durán, J. (1995). *Perfiles, glosas y siluetas de mi tierra*. Lliria: Ayuntamiento de Lliria.
- Escrivà Torres, V., Martínez Camps, C., y Vidal Ferrús, X. (2001). "Edeta kai Leiria. La ciutat d'Edeta de l'època romana a l'antiguitat tardana", *Lauro. Quaderns d'història i societat*, 9.
- Escrivà Torres, V., Martínez Camps, C., y Vidal Ferrús, X. (2004). *Informe-memoria de la intervenció arqueològica efectuada en el solar de la Avda. del Furs 24*. Depositado en la Direcció General de Patrimoni de la Conselleria de Cultura.
- Escrivà Torres, V., Martínez Camps, C., y Vidal Ferrús, X. (2007). "Edeta en la antigüedad tardía", en *VI Reunió d'Arqueologia Cristiana Hispànica 2003*. Barcelona.
- Escrivà Torres, V., Martínez Camps, C., y Vidal Ferrús, X. (2014). "Contextos cerámicos, desarrollo urbano y abandono del municipio romano de Edeta (Lliria, Valencia)", en S. F. Ramallo Asensio, A. Quevedo Sánchez y X. Vidal Ferrús (eds.): *Las ciudades de la Tarraconense oriental entre los s. II-IV d.C: evolución urbanística y contextos materiales*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4911262>
- Escrivà Torres, V., Martínez Camps, C., y Vidal Ferrús, X. (2017). "Los lateres cocti en las termas dobles de Edeta", en *Opera fictiles. Estudios transversales sobre cerámicas antiguas de la Península Ibérica. IV Congreso internacional de la SECAH-EX Officina Hispania*. Valencia.
- Escrivà Torres, V., y Vidal Ferrús, X. (1995). "La partida de Mura (Lliria, Valencia): un conjunto monumental de época Flavia", *Saguntom. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 26. Recuperado a partir de <https://ojs.uv.es/index.php/saguntum/article/view/2154>

- Escrivà Torres, V., Vidal Ferrús, X. y Gozálbés, E. (2005). "Llíria III. Un gran tesoro de comienzos del s. III", en A. Ribera y P. P. Ripollés (eds.): *Tesoros monetarios de Valencia y su entorno*. Valencia: Ajuntament de València.
- Esteban Chapapría, J., y Moliner Cantos, E. (2015). "Estudios de arquitectura romana. Las termas mayores de Mura, Llíria (Valencia)", *Papeles del Partal nº 7*. Barcelona: Academia del Partal.
- Esteban, E. S., Aramayo, A. M., y Cardón, L. (2010). "Implementación de modelos de turbulencia tipo LES (large eddy simulation) a una cavidad calentada por debajo", en Eduardo Dvorkin, Marcela Goldschmit y Mario Storti (eds.): *Mecánica Computacional, XXIX*. Santa Fe: AMCA.
- Feijoo Martínez, S. (2006). "Las presas y el agua potable en época romana: dudas y certezas", *TRAIANVS - AQUAE*.
- Fernández Casado, C. (1985). *Ingeniería hidráulica romana*. Madrid: Ediciones Turner. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- Fernández Ochoa, C., y García Entero, V. (1999). "Las termas romanas del noreste y de la meseta norte de Hispania. Los modelos arquitectónicos", *Archivo Español de Arqueología*, 72 (179-180).
- Fernández Ochoa, C., García Entero, V., Morillo Cerdán, Á., y Zarzalejos Prieto, M. (2004). "Proyecto Termas Romanas en Hispania. Balance de una década de investigación (1993-2003)", *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 30. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado a partir de <https://revistas.uam.es/cupauam/article/view/1222/1191>
- Fernández Ochoa, C., Morillo Cerdán, Á., y Zarzalejos Prieto, M. (1999). "Material latericio en las termas romanas de Hispania", en M. Bendala Galán, C. Rico y L. Roldán Gómez (eds.): *El ladrillo y sus derivados en la época romana* (pp. 291-305). Madrid.
- Fernández Vega, P. A. (1999). *La casa romana*. Barcelona: Akal.
- Ficacci, L. (2011a). *Giovanni Battista Piranesi: catalogo completo delle acqueforti = catálogo completo de grabados = catálogo completo das águas-fortes. Volume I*. Colonia: Taschen.
- Ficacci, L. (2011b). *Giovanni Battista Piranesi: catalogo completo delle acqueforti = catálogo completo de grabados = catálogo completo das águas-fortes. Volume II*. Colonia: Taschen.
- Fincker, M. (1986). "Les briques claveaux: un materiau de construction spécifique des thermes romains", *Revue Aquitania*, 4.
- Fomento de iniciativas urbanas S.L. (2002). *Diagnóstico ambiental de Llíria. Desarrollado para plan de acción AGENDA 21 LOCAL*. Valencia.

- Forbes, R. J. (1966a). *Glass. Studies in Ancient Technologies*, pp. 110-231. Brill.
- Forbes, R. J. (1966b) *Studies in Ancient Technology*, vol. 6: *I Heat and Heating. II Refrigeration, the Art of Cooling and Producing Cold. III Light*. Brill.
- Fournet, T., y Redon, B. (2010). "Le bain grec à l'ombre des thermes romains", *Dossiers d'Archéologie*, 342.
- Francisci, P. de (1969). *Sintesi storica del diritto romano*. Roma: Edizioni dell'ateneo.
- Fuentes Domínguez, Á. (2000). "Las termas en la antigüedad tardía: Reconversión, amortización, desaparición. El caso hispano", en C. Fernández Ochoa (ed.): *Actas del Simposium de termas romanas en el Occidente del Imperio*. Gijón.
- Furió Gómez, C., Solbes, J., y Furió Mas, C. (2007). "La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas", *Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4.
- Gagliano, A., Liuzzo, M., Margani, G., y Pettinato, W. (2017). "Thermo-hygrometric behaviour of Roman thermal buildings: the Indirizzo Baths of Catania (Sicily)", *Energy and Buildings*, 138. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.011>
- García de Cortazar, F. (2012). *Atlas de historia de España*. Barcelona: Planeta.
- García Díaz, P., Fernández Ochoa, C., y Bidwell, P. (2002). *Los baños públicos. Espacios de ocio, convivencia y cultura en el arco atlántico*. Gijón: Taller gráfico Llanos Heredia. Recuperado a partir de [https://museos.gijon.es/multimedia\\_objects/download?object\\_type=document&object\\_id=109810](https://museos.gijon.es/multimedia_objects/download?object_type=document&object_id=109810)
- García Entero, V. (2005). *Los balnea domésticos —ámbito rural y urbano— en la Hispania romana*. Anejos de la AESPA XXXVII, Madrid: CSIC.
- García Entero, V., y Arribas Domínguez, R. (2000). "Los balnea de las villae y su proceso de monumentalización", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio* (pp. 83-96). Gijón: VTP Editorial.
- García Moreno, L. (1989). *Historia de la España Visigoda*. Madrid: Cátedra.
- Gisbert Santonja, J. A. (1999). "El alfar de l'Almadrava (Setla-Mirarosa-Miraflor). DIANIUM. Materiales de construcción cerámicos. Producción y aproximación a su funcionalidad en la arquitectura del complejo artesanal", *Monografías de Arquitectura Romana*, 4.

- Gómez Ros, J., Marimón, F., Martínez, F., y Sabater Pérez, A. (1991). "Excavacions al nucli urbà de Lliria: zona Gerard Ferrando", en *Primer Congrés d'Estudis Comarcals del Camp de Túria*. Valencia.
- Gozálbes, M., Ripollés, P. P., Escrivà Torres, V., y Vidal Ferrús, X. (2005). "El tesoro de denarios imperiales de Lliria III (Valencia)", en C. Alfaro, M. Marcos y P. Otero (eds.): *Actas del XIII Congreso Internacional de Numismática*.
- Graciani, A. (2009). "Earthenware pieces manufactured for roman thermae", en *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*. Cottbus.
- Grewe, K. (2010). "La máquina romana de serrar piedra. La representación en bajorelieve de una sierra de piedra de la antigüedad, en Hierápolis de Frigia y su relevancia para la historia técnica", en *V congreso de obras públicas romanas. Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana*. Córdoba. Recuperado a partir de [http://www.traianvs.net/pdfs/2010\\_15\\_grewe.pdf](http://www.traianvs.net/pdfs/2010_15_grewe.pdf)
- Grose, D. F. (1989). *The Toledo Museum of Art. Early ancient glass: core-formed, rod-formed and cast vessels and objects from the late Bronze Age to early Roman Empire, 1600 B.C. to A. D. 50*. Nueva York.
- Guillén, J. (1977). *Vrbs Roma. Vida y costumbre de los romanos. Tomo I: La vida privada*. Salamanca: Ediciones Sígueme.
- Harvey, C. A. (2011). *Tubuli and their Use in Roman Arabia, with a Focus on Humayma (Ancient Haurra)*. University of Victoria.
- Incropera, F. P., y DeWitt, D. P. (1981). *Fundamentals of heat transfer*. Wiley. Recuperado a partir de <https://books.google.es/books?id=xAdRAAAAMAAJ>
- Instituto geológico y minero de España. (1988). *Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización*. Madrid: IGME.
- Kanner, C. (2000). *The book of the bath*. Los Angeles, California: Calamus.
- Ketzschmer, F. (1953). "Hypokausten", *Saalbjb*, 12, p. 26. De Gruyter.
- Krencker, D., Krüger, E., Lehmann, H., y Wachtler, H. (1929). *Die trierer Kaiserthermen I*. Augsburg.
- Laborde, A. de. (1820). *Voyage pittoresque et historique de l'Espagne*, vol II. Description du Royaume de Valence. París.
- Lalli, C., Pilar, B. R., Escrivà Torres, V., y Bosch Reig, I. (2010). "Reconocimiento de los componentes físico-químicos de las pinturas murales romanas del santuario y termas de Edeta", *Arché*, 4 y 5, pp. 37-44.

- Le Bohec, Y. (2004). *El ejército romano, instrumento para la conquista de un imperio*. Barcelona: Ariel.
- Ledo Caballero, A. C. (2011). "Lliria durante el periodo romano y la antigüedad tardía", en J. Hermosilla Pla (ed.): *Lliria, historia geografía y arte: nuestro pasado y presente*. Valencia: Universitat de València.
- Leveau, J. (2004). "Libratio Aqvarvm. L'archeologie des aqueducs romains entre proet et usage", *TRAIANVS - AQUAE*. Recuperado a partir de [http://www.traianvs.net/pdfs/2004\\_05\\_leveau.pdf](http://www.traianvs.net/pdfs/2004_05_leveau.pdf)
- Lledó Cardona, N. (2001). "Los hallazgos monetarios de Liria (Valencia)", *Sagvuntvm. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 33.
- Llopis Pulido, V., Alonso Durá, A., Martínez Boquera, A., y Fenollosa Forner, E. (2017). "Analysis of the structural behaviour of the historical constructions: seismic evaluation of the Cathedral of Valencia (Spain)", en *3rd International Conference on Protection of Historical Constructions. Lisbon, Portugal, 12 – 15 July, 2017*.
- Magallón, M. A., y Sillières, P. (1997). "Labitolosa (Cerro del Calvario, La Puebla de Castro, Huesca)", *Bolskan*, 14. Huesca.
- Malissard, A. (1996). *Los romanos y el agua*. Barcelona: Herder.
- Manuel Rioja, F. de (2013). *Informe de la intervención arqueológica efectuada en las obras de urbanización de la U.E 3. Lliria*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Consellería de Cultura.
- Mar, R. (1990). "El Santuario de Hércules y la urbanística de Ostia", *Archivo Español de Arqueología*, 63. Madrid.
- Mar, R. (2000). "Las termas imperiales", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*. Gijón: VTP Editorial.
- Marín Sánchez, R. (1998). *La construcción en época romana*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Martí Ferrando, L. (1986). *Historia de la Muy Ilustre Ciudad de Liria*. Benaguasil.
- Martínez, F., Rivas, L., y Arias, M. J. (1989). "Monumentos funerarios romanos de Lliria", *Lauro*, 4, pp. 243-251.
- Martínez, I. (1992). "Historia de la Termodinámica", en *Termodinámica básica y aplicada*, pp. 573-583. Madrid: Dossat. Recuperado a partir de <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/Appendices/Historia de la Termodinamica.pdf>

- Martínez Boquera, A., y Alonso Durá, A. (2003). "Técnicas de diagnóstico estructural en construcciones históricas. Análisis de la cúpula de San Miguel de los Reyes", *LOGGIA*, 14-15.
- Martínez Camps, C. (2013). *Informe-Memoria de la intervención arqueológica efectuada solar de la Unión Musical de Lliria*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Consellería de Cultura.
- Mata Parreño, C. (2011). "Edeta: una ciudad-estado ibérica", en J. Hermsilla Pla (ed.): *Lliria, historia geografía y arte: nuestro pasado y presente*, vol I. Valencia: Universitat de València.
- Mayer, M., y Rodá, I. (1991). "El comercio del mármol en el Mediterráneo y su reflejo en la sociedad romana de Sagunt", en C. Aranegui (coord.): *Saguntum y el mar*, Valencia.
- Merten, E. W. (1983). *Bäder und badegepflogenheiten in der Darstellung der Historia Augusta*. Bonn.
- Miró i Alaix, C. (1992). "La arquitectura termal medicinal de época romana en Catalunya. Las termas de Caldes de Montbui como ejemplo", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, 5, pp. 255-275. Madrid.
- Monraval, M. (1992). "La pintura mural romana en el País Valenciano. Estado de la investigación y nuevos hallazgos. Metodología de excavación-recuperación", en J. L. Jiménez (ed.): *I Coloquio de Pintura Mural Romana en Hispania*. Valencia.
- Moreno Gallo, I. (2007). "Libratio Aqvarvm. El arte romano de suministrar las aguas", *TRAIANVS - AQUAE*. Recuperado a partir de [http://www.traianvs.net/pdfs/2007\\_acueductos\\_libratio\\_aquarum.pdf](http://www.traianvs.net/pdfs/2007_acueductos_libratio_aquarum.pdf)
- Nielsen, I. (1990). *Termae et Balnea. The Architecture and Cultural History of Roman Public Baths* (P. Crabb, trad.). Dinamarca: Aarhus University Press.
- Oetelaar, T. A., y Johnston, C. R. (2012). "Determination of the convective heat transfer coefficient of hot air rising through terracotta flues", en *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 36(4). Recuperado a partir de [http://doi.org/10.1016/S0109-5641\(87\)80027-1](http://doi.org/10.1016/S0109-5641(87)80027-1)
- Oró Fernández, E. (1996). "El Balneario romano: aspectos médicos funcionales y religiosos", *Antigüedad y cristianismo*, 13.
- Ortiz Palomar, M. E., y Paz Peralta, J. (1997). "El vidrio en los baños romanos", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas. Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

- Pabón S. de Urbina, J. M. (1967). *Diccionario Manual Griego. Griego clásico-Español*. Madrid: Vox.
- Pasquinucci, M. (1993). *Terme romani e vita quotidiana*. Modena: Franco Cosimo Panini Editore.
- Payà Merce, X. (2000). "Las termas públicas de la ciudad romana de Ilerda", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio* (pp. 179-184). Gijón: VTP Editorial.
- Peña Olivas, J. M. de la (2006). "Alcance y organización de las obras públicas en el Imperio Romano", en Colegio de Ingenieros T de O. P (Ed.): *Nuevos Elementos de Ingeniería Romana. Actas del III Congreso de Obras Públicas (Octubre de 2006. Astorga)* (pp. 341-376). Astorga: Junta de Castilla y León. Recuperado a partir de [www.traianvs.net](http://www.traianvs.net)
- Peña Olivas, J. M. de la (2010). "Sistemas romanos de abastecimiento de agua", en *V Congreso de las Obras Públicas Romanas. Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana*.
- Pérez Mínguez, R. (2006). *Aspectos del mundo rural romano en el territorio comprendido entre los ríos Túrria y Palància*. Serie de Trabajos Varios, 106. Valencia: Diputación de Valencia.
- Piranomonte, M. (2006). *Termas de Caracalla*. Roma: Ministero per i beni e la Attività Culturali. Soprintendenza Archeologica di Roma.
- Plinio el Viejo. (2001). *Historia natural*. Gredos.
- Puche Fontilles, J. M. (2010). "Los procesos constructivos de la arquitectura clásica. De la proyección a la ejecución. El caso del Concilium Provinciae Hispaniae Citerioris of Tarraco)", *Arqueología de la Arquitectura*, 7.
- Robles-Osorio, M. L., y Sabath, E. (2014). "Breve historia de la intoxicación por plomo: De la cultura egipcia al Renacimiento", *Revista de Investigación Clínica*, 66 (1).
- Roldán Gómez, L. (2008). "El material constructivo latericio en Hispania. Estado de la cuestión", en D. Bernal Casasola y A. V. Ribera i Lacomba (eds.): *Cerámicas hispanorromanas: un estado de la cuestión*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3126481>
- Rook, T. (1992). *Roman Baths in Britain*. Shire Archaeology, 69. Shire Publications Ltd.
- Roso i García, R. (2015). *Lliçons de calç i de ciments*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.

- Sanz Gamó, R. (1987). "Materiales cerámicos utilizados en la construcción de hypocaustos en el sureste peninsular: clavijas y ladrillos recortados", en *XIX congreso nacional de arqueología*, pp. 877-883. Valencia.
- Scheid, J. (1991). "Sanctuaires et thermes sous l'Empire", *C.E.F.R.*, 142 (Les Thermes Romains).
- Segura, S., y Cuenca, M. (2007). *El ocio en la Grecia clásica*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Storz, S. (1997). *La tecnica edilizia romana e paleocristiana delle volte e cupole a tubi fittili*. Milán: Electa.
- Trachtenberg, M., y Hyman, I. (1990). *Arquitectura. De la prehistoria a la postmodernidad*. AKAL.
- Tuero del Prado, C. E. (2013). "Las termas romanas, establecimientos precursores de los actuales centros acuáticos de ocio", *Citius, Altius, Fortius*, 6 (1). Recuperado a partir de <http://doi.org/10.15366/citius>
- Vaquerizo Gil, D. (2010). *Necrópolis urbanas en Baetica*. Tarragona: ICAC.
- Vega Avelaira, T. (2008). "El ejército y las obras públicas en el imperio romano: el desarrollo de las comunicaciones terrestres", en *IV Congreso de las obras públicas en la ciudad romana*.
- Vega Avelaira, T. (2010). "Novedades sobre las Termas Legionarias en Britannia", en *V Congreso de las Obras Públicas Romanas. Las técnicas y las construcciones de la ingeniería romana*. Córdoba.
- Vidal Ferrús, X. (2007). *Informe-memoria de la intervención arqueológica efectuada en el solar del carrer Pla de l'Arc esquina López Varela Avda. Furs*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.
- Vidal Ferrús, X. (2008). *Memoria de la intervención arqueológica efectuada en el solar del C.E.I.P. Sant Vicent de Lliria*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.
- Vidal Ferrús, X. (2010). *Informe-memoria de la intervención arqueológica efectuada en las obras de urbanización de la U.E. 10B*. Depositado en la Dirección General de Patrimonio de la Conselleria de Cultura.
- Vitruvio Polión, M. (1787). *Los diez libros de arquitectura. Traducidos del latín, y comentados por Don Joseph Ortiz y Sanz*. Madrid: Imprenta Real.
- Vitruvio Polión, M. (1985). *Los diez libros de arquitectura*. (A. Blánquez, trad.) (6ª). Barcelona: Iberia S.A.

AA. VV. (1991). *Les thermes romains. Actes de la table ronde organisée par l'école française de Rome (Rome, 11-12 novembre 1988)*. 1 vol. Roma: Ecole française de Rome.

VV. AA. (2009). "Lliria", en *Gran Enciclopedia Temática de la Comunidad Valenciana. Geografía*. Valencia: Editorial Prensa Valenciana.

Winckelmann, J. J. (1762). *Anmerkungen Über die Baukunst des Alten* (verlegt J. G. Dyck., trad.). Leipzig.

Yegül, F. (1979). "The Small City Bath in Classical Antiquity and a Reconstruction Study of Lucian's *Bath of Hippias*", *Archeologia classica*, XXXI.

Yegül, F. (1992). *Baths and bathing in classical antiquity*. Nueva Yor: The Architectural History Foundation, y Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

## BIBLIOGRAFÍA

Abad Casal, L. (1982). *La pintura romana en España*. Universidad de Alicante. Recuperado a partir de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/21902>

Abad Casal, L. (1985). "Arqueología romana del País Valenciano: panorama y perspectivas", en Secretariado de Publicaciones Universidad de Alicante (ed.): *Arqueología del País Valenciano: panorama y perspectivas*, pp. 877-1022. Alicante: Universidad de Alicante. Recuperado a partir de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/28344/1/Lucentum%7B\\_%7DAnejo.pdf%7B#%7Dpage=877](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/28344/1/Lucentum%7B_%7DAnejo.pdf%7B#%7Dpage=877)

Abad Casal, L., y Bendala Galán, M. (1985). "Los sepulcros turriformes de Daimuz y Villajollosa: Dos monumentos romanos olvidados", *Lucentum*, IV, pp. 147-184.

Abad Casal, L., y Fundación Duques de Soria. (2003). *De Iberia in Hispaniam : la adaptación de las sociedades ibéricas a los modelos romanos: actas del Seminario de Arqueología organizado por la Fundación Duques de Soria, Soria, Convento de la Merced, del 23 al 27 de julio de 2001*. Universidad de Alicante. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=9136>

Acero Pérez, J. (2015). *La gestión de los residuos en Augusta Emerita (Mérida, España). Siglos I aC - VII dC*. Universidad de Extremadura.

Acero, J., y Cano, A. I. (2007). "El plomo y sus aplicaciones en una ciudad romana: Augusta Emerita", *Sautuola*, XIII, pp. 543-556.

Acocella, A. (2013). *Stile Laterizio. Origine e permanenze del mattone nell'architettura contemporanea*. Roma: Media MD.

Alarção, J., y Étienne, R. (1977). *Fouilles de Conimbriga, I: l'architecture*. París.

- Almagro Basch, M. (1957). "Necrópolis romana de las parcelas números 45 y 46 de Segóbriga (Saelices, Cuenca)", *Noticiario Arqueológico Hispánico* 7, pp. 215-246 Madrid.
- Almagro Basch, M., y Abascal, J. M. (1999). *Segóbriga y su conjunto arqueológico*. Madrid: RAH.
- Alvarez Pérez, A., y Roda, I. (1992). *Ciencias, metodologías y técnicas aplicadas a la arqueología*. Barcelona: Fundació Caixa de Pensions. Recuperado a partir de [http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario\\_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones\[\]=peticiones\\_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701830&operadores\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=IGU&campos\[sod\\_peticones.CODI\\_U](http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones[]=peticiones_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701830&operadores[sod_peticones.CODI_USU]=IGU&campos[sod_peticones.CODI_U)
- Andrè, J. (1965). *Apicius. L'art culinaire. De re coquinaire*. París.
- Andrè, J. (1961). *L'alimentation et la cuisine à Rome*. París: Klincksieck.
- Anglada, R., Belén, M., y Conlin, E. (2000). "Las termas de Carmona", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 257-262. Gijón: VTP Editorial.
- Aranegui Gascó, C. (1991). *Saguntum y el mar*. Valencia.
- Aranegui Gascó, C. (1999). "El comercio del vino en la costa mediterránea española en época romana", en S. C. Pérez (ed.): *El vino en la antigüedad romana: Simposio de arqueología del vino, Jerez, 2, 3 y 4 de octubre de 1996*, pp. 79-96. Jerez: Universidad Autónoma de Madrid. ISBN 84-930824-2-2. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=571777>
- Arasa i Gil, Ferran. (2000). "L'oscillum d'Edeta (Lliria, el Camp del Túria)", *Saguntom. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, vol. 32, pp. 143-150. Recuperado a partir de <http://roderic.uv.es/handle/10550/24477>
- Araujo Nespereira, P. A., Cid Fernández, J. A., Delgado Outeiriño, I., y Guezmes Barriuso, A. L. (2007). "Inventario y caracterización del yacimiento termal de Ourense ciudad (Galicia, España)". Recuperado a partir de [http://www.xeoquis.com/admin/docs/070501\\_YACIMIENTO\\_GEOTERMICO\\_OURENSE-CIUDAD.pdf](http://www.xeoquis.com/admin/docs/070501_YACIMIENTO_GEOTERMICO_OURENSE-CIUDAD.pdf)
- Arbore, G. (1998). "Marco Cornelio Nigrino Curiazio Materno, il rivale condannato al silenzio", en *Traiano ai confini dell'impero*, pp. 39-40. Milan.
- Arenas Álvarez, A. (2015). "Las termas suburbanas de Herculano, ejemplo singular de baños romanos", en *Estudios arqueológicos del Área Vesubiana I = Archaeological studies of the Vesuvian area I*, pp. 56-67. Recuperado a partir de <http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usu>

ario\_peticiones.php&tabla=peticiones&relaciones[]=peticiones\_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701638&operadores[sod\_peticiones.CODI\_USU]=IGU&campos[sod\_peticiones.CODI\_USU]=!20422850&export=mendeley

- Arias Villas, F., y Vega Rodríguez, A. de (1997). "Las termas romanas de Lugo", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 346-351. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Arlandi Rodríguez, M. (2003). "El laboreo romano del lapis specularis en la mina Búho (Osa de la Vega, Cuenca)", en *IV Congreso internacional sobre patrimonio geológico y minero*, pp. 333-342. Utrillas, Teruel: SEDPGYM. Recuperado a partir de [http://www.lapisspecularis.org/Articulos/MINA\\_BUHO.pdf](http://www.lapisspecularis.org/Articulos/MINA_BUHO.pdf)
- Asensio Esteban, J. A. (2006). "El gran aparejo en piedra en la arquitectura de época romana republicana de la provincia hispania citerior el opus siliceum y el opus quadratum", *Salvdie*, 6, pp. 117-159.
- Aupert, P. (1983). "Rapports sur les travaux de l'École française en Grèce en 1982", *Argos*, 3.
- Badal, E., Carrión, Y., Macías, M., y Ntinou, M. (2012). "Wood and charcoal evidence for human and natural history", *Sagvntom Extra. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*. Valencia: Departament de Prehistoria i d'arqueologia.
- Baldassare, I. (1978). "'La necropoli dell'Isola Sacra'. Un decennio di recherche archeologiche", *Quaderni de la ricerca scientifica*, 100.
- Balil Illana, A. (1978). "El mosaico de 'Los Trabajos de Hércules' hallado en Liria (Valencia)", *Archivo de Prehistoria Levantina*, 15, pp. 265-275.
- Baños Serrano, J., Chumillas López, A., y Ramírez Águila, J. A. (1997). "Las termas romanas de Alhama de Murcia", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 329-337. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Barroso Cabrera, R., y Morin De Pablos, J. (1993). "Las termas de Ercávica: un posible edificio de baños rituales en época romana", *AnMurcia*, 9-10, pp. 237-267.
- Basaran, T., y Ilken, Z. (s. f.). *Die thermische analyse der warmedispersion im kleinen bad von phaselis*, 149-160.
- Bean, R., Olesen, B. W., y Kim, K. W. (2010a). "History of Radiant Heating and Cooling Systems (part 1). *ASHRAE Journal* (January), pp. 40-47.
- Bean, R., Olesen, B. W., y Kim, K. W. (2010b). "History of Radiant Heating and Cooling Systems (part 2)", *ASHRAE Journal* (February), pp. 50-55.

- Bendala Galán, M. (1992). "Materiales de construcción romanos peculiaridades de Hispania", en *Ciencias, metodologías y técnicas aplicadas a la arqueología*, pp. 215-226. Barcelona. Recuperado a partir de [http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario\\_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones\[\]=peticiones\\_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701830&operadores\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=IGU&campos\[sod\\_peticones.CODI\\_U](http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones[]=peticiones_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701830&operadores[sod_peticones.CODI_USU]=IGU&campos[sod_peticones.CODI_U)
- Benito Segura, O. (2015). *La ingeniería hidráulica romana: análisis de técnicas*. Universitat Politècnica de València.
- Berlamont, J. (2004). "Moderne persleidingen en Romeinse hydraulische technieken", en H. Paul y M. Kessener (eds.): *Rioleringswetenschap en -techniek Roman hydraulic technology and modern pressurized pipeline systems*, pp. 13-44.
- Bernal Arévalo, A., Muñoz, A., Expósito, J. A., Díaz, J. J., Lagóstena, J., Vargas, J. M., ... Bustamante, M. (2013). "Las termas y el Suburbium marítimo de Baelo Claudia. Avance de un reciente descubrimiento", *Onoba*, 1, pp. 115-152.
- Bernal Casasola, D., y Ribera i Lacomba, A. (eds.) (2008). *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la cuestión. XXVI Congreso Internacional de la asociación Rei Cretariae Romanae Fautores*. Universidad de Cádiz.
- Bernárdez Gómez, M. J., y Guisado di Monti, J. C. (2003). "La minería romana del lapis specularis. Una minería de interior", en L. Abad Casal (ed.): *Investigaciones Arqueológicas en Castilla-La Mancha 1996-2002*, pp. 245-256. Toledo: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Servicio de Publicaciones. Recuperado a partir de [http://lapisspecularis.org/Articulos/Mineria de interior.pdf](http://lapisspecularis.org/Articulos/Mineria%20de%20interior.pdf)
- Bernárdez Gómez, M. J., y Guisado di Monti, J. C. (2007). "Las referencias al lapis specularis en la Historia Natural de Plinio el Viejo", *Pallas*, 75, pp. 49-57. Recuperado a partir de [http://www.jstor.org/sci-hub.cc/stable/43606560?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/43606560?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Bernárdez Gómez, M. J., Guisado di Monti, J. C., y Villaverde Mora, F. (2005). "La mina romana de Lapis Specularis de La mora encantada; en Torrejoncillo del Rey (Cuenca)", en O. Puche Riart y M. Ayarzagüena Sanz (eds.): *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo*, pp. 243-254. Recuperado a partir de [http://lapisspecularis.org/pdf/LA MINA ROMANA DE LAPIS SPECULARIS DE LA MORA ENCANTADA EN TORREJONCILLO DEL REY \(CUENCA\).pdf](http://lapisspecularis.org/pdf/LA%20MINA%20ROMANA%20DE%20LAPIS%20SPECULARIS%20DE%20LA%20MORA%20ENCANTADA%20EN%20TORREJONCILLO%20DEL%20REY%20(CUENCA).pdf)
- Blyth, P. H. (1999). "The consumption and cost of fuel in hypocaust baths", *Journal of Roman Archaeology -Supplementary series-*, 37, pp. 87-98. Recuperado a partir de <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%7B%25%7D3ACN036667771/The-consumption-and-cost-of-fuel-in-hypocaust-baths/>

- Bonet, H., y Mata, C. (1988). "Imitaciones de cerámica campaniense en Edetania y Contestania", *Archivo Español de Arqueología*, 61, pp. 5-39.
- Bonnard, L. (1908). *La Gaulle thermale. Sources et stations thermales et minérales de la Gaulle a l'époque gallo-romaine*. París: Librairie Plon.
- Bontempi, F., y Mangione, M. (2015). *Modellazione degli incendi con Fire Dynamics Simulator (FDS)*. Roma.
- Boon, J. (1966). "Roman window glass from Wales", *Journal of Glass Studies*, VIII, pp. 41-50.
- Borrás i Querol, C. (1987). "Avance de las excavaciones en la villa romana de Más d'Aragó", *Cuadernos de prehistoria y arqueología Castellonenses*, 7, pp. 379-398.
- Braña Rey, F. (2015). "Magia, religión y vida. Apuntes de la literatura etnográfica sobre el agua termal en Galicia", en J. M. Faílde Garrido, A. Formella, J. A. Fraiz Brea, F. Gómez Pérez y V. R. Vázquez (eds.): *Congreso internacional del agua. Termalismo y calidad de vida*, pp. 463-473. Ourense: Universidad de Vigo. Recuperado a partir de [http://cidat.webs.uvigo.es/docs/CO\\_3.6.pdf](http://cidat.webs.uvigo.es/docs/CO_3.6.pdf)
- Brödner, E. (1983). *Die Römischen Thermen und das Antike Badewesen: eine Kulturhistorische Betrachtung*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Brown Eric Konicki Laura Wong, M. (2012). "The Influence of Geometry on Free Convection in Roman Hypocaust Systems". Rochester: University of Rochester, Department of Mechanical Engineering. Recuperado a partir de [http://www.me.rochester.edu/courses/ME241.gans/3-Romans%7B\\_%7DI.pdf](http://www.me.rochester.edu/courses/ME241.gans/3-Romans%7B_%7DI.pdf)
- Büntgen, U. (2011). "Years of European Climate Variability and Human Susceptibility", *Science*, 331, p. 578. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1126/science.1197175>
- Bures, L. (2002). "Reflexions sobre què vol dir 'la gestió de l'aigua a les ciutats d'Hispania'", *Empúries (Ejemplar dedicado a: La gestió de l'aigua a les ciutats romanes d'Hispania)*, 53, pp. 9-11.
- Burgers, A. (1997). *The Water Supplies and Related Structures of Roman Britain*. University of Leicester.
- Caballero, L. (1987). "Monasterios visigodos. Evidencias arqueológicas", *Codex Aquilarensis*, 1, pp. 31-50.
- Cacciavillani, C. A. (1996). Ostia y la técnica constructiva romana de muros y pisos Actas del *Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 19-21 septiembre 1996, pp. 97-103

- Cacciavillani, C. A. (2011). Thermal baths in the ancient Roman town of Ostia: typology, history, art and building techniques. *9th Annual International Conference on History: From Ancient to Modern*, 1-4 August 2011, Athens, Greece
- Calderón Sánchez, M., España-Chamorro, S., y Montoya Gonzalez, R. (2015). *Estudios arqueológicos del Área Vesubiana I = Archaeological studies of the Vesuvian Area I*. Recuperado a partir de [http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario\\_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones\[\]=peticiones\\_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701638&operadores\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=IGU&campos\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=%2120422850](http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones[]=peticiones_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701638&operadores[sod_peticones.CODI_USU]=IGU&campos[sod_peticones.CODI_USU]=%2120422850)
- Caracuta, V. (2006). "Wood and charcoal", *Analecta Praehistorica Leidensia*, 37/38, pp. 363-374.
- Carandini, A., y Panella, C. (1977). "Ostia IV", *StMisc*, 23.
- Carreño, C. (1992). "Baños privados y termas públicas en el Lugo romano", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, pp. 337-350. Recuperado a partir de <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:ETFSerie2-9A1E5BF0-D5C6-24B4-58FB-9A818195737C/Documento.pdf>
- Catalogo de las monedas romanas halladas en la Villa de Liria el 31 de octubre de 1806*. Manuscrito nº 511 de la Biblioteca General de la Universidad de Valencia. (1806). Valencia.
- Ceán Bermúdez, J. A. (1832). *Sumario de las Antigüedades Romanas que hay en España, en especial las pertenecientes a las Bellas Artes*. Madrid.
- Cebrián Fernández, R. (1999). "El uso epigráfico y hábitos formales en el ámbito funerario de Edeta", *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló*, 20, pp. 287-300.
- Cebrián Fernández, R. (2000). *Titulum Fecit. La producción epigráfica romana en las tierras valencianas*. Madrid: Real Academia de la Historia.
- Cebrián, R., y Hortelano, I. (2014). "El agua en Segobriga (Saelices, Hispania Citerior): Las fistulae plumbeae", *Archivo Español de Arqueología*, 87, pp. 141-156. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.3989/aespa.087.014.009>
- Chabas, R. (1888). Las nuevas lápidas romanas de Liria. *El archivo*, 3, 184-188.
- Chabas, R. (1891). "Inscripciones romanas", *El archivo*, 5, pp. 88-90.
- Choisy, A. (1970). *Historia de la arquitectura*. Buenos Aires: Lumen.
- Cicerchia, P., y Marinucci, A. (1992). *Scavi di Ostia. Vol.XI: Le Terme del Foro o di Gavio Massimo*. Roma: Instituto Poligrafico e zecca dello Stato.

- Claridge, A. (1999). "The Baths of Caracalla. A Study in the Design, Construction, and Economics of Large-Scale Building Projects in Imperial Rome", *Journal of Roman Studies*, pp. 248-249. Recuperado a partir de [http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario\\_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones\[\]=peticiones\\_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701847&operadores\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=IGU&campos\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=!20422850&export=mendeley](http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones[]=peticiones_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701847&operadores[sod_peticones.CODI_USU]=IGU&campos[sod_peticones.CODI_USU]=!20422850&export=mendeley)
- Claudia, A. (s. f.). *Maps , figures and illustrations*.
- Cunliffe, B. (1965). "The Temple of Sulis Minerva at Bath", *Antiquity*, 40 (159), pp. 199-204. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1017/S0003598X00032506>
- Cunliffe, B. (1980). "The Excavation of the Roman Spring at Bath 1979: a Preliminary Description", *The Antiquaries Journal*, 60 (2), pp. 187-206. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1017/S0003581500036398>
- Cuomo di Caprio, N. (1985). *La ceramica in archeologia. Antiche tecniche di lavorazione e moderni metodi d'indagine*. Roma.
- D'Ambrosio, F. R., Chidichimo, A., y Sorrentino, F. (2006). "Sulla termotecnica in epoca romana", en B. Iavarone (ed.): *Storia dell'Ingegneria. Atti del 1° Convegno Nazionale*, pp. 797-809. Napoli: Tipolitografia Scala.
- Debaste, F., y Haut, B. (2014). "Some elements of the water supply system of the city of Perge , in the Roman Imperial period", en *IWA regional symposium on water, wastewater and environment: traditions and culture*. Patras, Grecia.
- DeLaine, J. (1992). *Design and construction in roman imperial architecture. The baths of Caracalla in Rome*. University of Adelaide.
- DeLaine, J. (1998). "Los Baños de Caracalla: Un estudio en el diseño, la construcción y la economía de los proyectos de construcción a gran escala en la Roma imperial", *Revista de arqueología romana*, 25, p. 1271.
- DeLaine, J., Camporeale, S., y Pizzo, A. (2016). *Arqueología de la construcción. 5th International Workshop on the Archaeology of Roman Construction Man-made materials, engineering and infrastructure*. (Á. Morillo Cerdán, dir.). Oxford: CSIC.
- Dembskey, E. J. (2009). *The aqueductus of ancient rome*. University of South Africa.
- Díez de Velasco, F., Pérex, M. J., y Miró, C. (1992). "Introducción bibliográfica al termalismo antiguo en la Península Ibérica", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia antigua*, 5, pp. 595-604. Recuperado a partir de <http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:ETFSerie2-27F76A01-6478-AC6D-7AFE-03D5B992F507/Documento.pdf>

- Dobosi, L., y Borhy, L. (2015). "Roman building techniques observed in the municipium of Brigetio", *Acta archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 66, pp. 183-201. Recuperado a partir de [http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario\\_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones\[\]=peticiones\\_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701637&operadores\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=IGU&campos\[sod\\_peticones.CODI\\_U](http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario_peticones.php&tabla=peticiones&relaciones[]=peticiones_refbib&pestanya=&campo=PETICION&texto=13701637&operadores[sod_peticones.CODI_USU]=IGU&campos[sod_peticones.CODI_U)
- Dosi, A., y Schnell, F. (1984). *A tavola con i Romani antichi*. Roma.
- Duc, V. le (1868). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française*. París.
- Dunn, G. (1986). *Identifying roman glass*. Londres.
- Duran, A., Pérez-Maqueda, L. A., Poyato, J., y Pérez-Rodríguez, J. L. (2010). "A thermal study approach to roman age wall painting mortars", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 99(3), pp. 803-809. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1007/s10973-009-0667-2>
- Durm, J. (1905). *Die Baustile. Historische and technische Entwicklung. Des handbiches der architektur Zweiter theil*. Stuttgart: Alfred Kroner Verlag.
- Egea Vivancos, A. (2002). "Características principales del sistema de captación, abastecimiento, distribución y evacuación de agua de Carthago Nova", *Empúries (Ejemplar dedicado a: La gestió de l'aigua a les ciutats romanes d'Hispania)*, 53, pp. 13-28.
- Enguix, R., y Aranegui, C. (1977). *Taller de ánforas romanas de Oliva (Valencia)*. Serie de Trabajos Varios del SIP, 54.
- Escrivà Torres, V. (s. f.). "Material latericio de las termas romanas de Mura: los lateres cocti" [inédito].
- Escrivà Torres, V. (1995). "Cerámica común romana del Municipium Liria Edetanorum. Nuevas aportaciones al estudio de la cerámica altoimperial en la Hispania Tarraconensis", *Monografíes Emporitanes*, 8.
- Escrivà Torres, V. (2010). *Introducción a la Reedición de V.RIOS, JOSEPH. A los Edetanos, o a los hijos de Liria. Valencia, 1759*. Valencia: París-Valencia.
- Escrivà Torres, V., y Llorens, M. M. (1997). "Partida de Mura (Lliria, València)", en *Monedes d'ahir, tresors de hui*. Valencia.
- Escrivà Torres, V., Martínez Camps, C., Sabater Pérez, A., y Vidal Ferrús, X. (2014). "Novedades epigráficas de Edeta (Lliria, Valencia)", *Lvcntvm*, XXXIII (33), pp. 243-250. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.14198/LVCENTVM2014.33.14>

- Estrada, L., y Villaronga, L. (1967). "La Lauro monetale y el hallazgo de Cànoves (Barcelona)", *Ampurias*, 28, pp. 135-194.
- Euba, I., y Allué, E. (2003). "Análisis antracológico de una acumulación de carbones en la villa del Moro (Torredembarra, Tarragona)", *Butlletí Arqueològic*, 25, pp. 89-106.
- Fagan, G. G. (2001). "The Genesis of the Roman Public Bath: Recent Approaches and Future Directions", *American Journal of Archaeology*, 105(3), pp. 403-426.  
Recuperado a partir de <http://doi.org/10.2307/507363>
- Faílde Garrido, J. M., Formella, A., Fraiz Brea, J. A., Gómez Pérez, F., y Vázquez, V. R. (eds.) (2015). *Libro de Actas I congreso internacional del agua, termalismo y calidad de vida*. Ourense: Universidad de Vigo. Recuperado a partir de [http://www.researchgate.net/publication/258644061\\_Libro\\_de\\_Actas\\_del\\_V\\_Foro\\_Iberamericano\\_de\\_los\\_Recursos\\_Marinos\\_y\\_la\\_Acuicultura/file/3deec528c8c45982e7.pdf](http://www.researchgate.net/publication/258644061_Libro_de_Actas_del_V_Foro_Iberamericano_de_los_Recursos_Marinos_y_la_Acuicultura/file/3deec528c8c45982e7.pdf)
- Feijoo Martínez, S. (2005). "Las presas y los acueductos de agua potable, una asociación incompatible en la antigüedad. El abastecimiento en Augusta Emerita", en T. Nogales Barrasate (ed.): *Augusta Emerita. Territorios, s, imágenes y gentes en Lusitania romana*, pp. 1-27. Mérida: Consorcio de la Ciudad Monumental de Mérida.
- Fernández Díaz, A. (1991). "La villa romana del Mas d' Aragó (Cervera del Maestre, Castellón.)", en *Saguntum y el mar*, pp. 112-113. Valencia.
- Fernández Ochoa, C., y García Díaz, P. (2000). "Recuperación y puesta en valor de las termas romanas de Campo Valdés de Gijón (Asturias)", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 443-449. Gijón: VTP Editorial.
- Fernández Ochoa, C., Morillo Cerdán, Á., y Zarzalejos Prieto, M. (2000). "Grandes conjuntos termales públicos en Hispania", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 59-72. Gijón: VTP Editorial.
- Fernández Ochoa, C., Morillo Cerdán, A., Zarzalejos Prieto, M., y García Entero, V. (1997). "Las termas romanas de Hispania: balance historiográfico y perspectivas de investigación", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 381-389. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado a partir de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=554780>
- Fernández Ochoa, C., y Zarzalejos Prieto, M. (1996). "Técnicas constructivas en las termas romanas de Campo Valdés (Gijón): el material latericio", *Archivo Español de Arqueología*, 69(c), pp. 109-118. Recuperado a partir de <http://aespa.revistas.csic.es/>

- Fernández Ochoa, C., y Zarzalejos Prieto, M. (1997). "Las termas públicas de las ciudades hispanas en el bajo imperio", en *Hispania en la Antigüedad Tardía, ocio y espectáculos: actas del II Encuentro Hispania en la Antigüedad Tardía, Ocio y Espectáculos*. Alcalá: Universidad de Alcalá.
- Fletcher, D. (1965). "Tipología de hornos cerámicos en España", *Archivo Español de Arqueología*, 38, pp. 170-174.
- Fletcher, B. (1969). *A concise history of western architecture*. Londres: Thames & Hudson.
- Fletcher, B., y Fletcher, B. F. (1896). *A History of Architecture for the student, craftsman, and amateur. Being a comparative view of the historical styles from the earliest period*. Londres: B. T. Batsford.
- Flohr, M. (2016). "Innovation and Society in the Roman World", (October). Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199935390.013.85>
- Fornell Muñoz, A. (2005). *Las villae romanas en la Andalucía Mediterránea y del Estrecho*. Jaén: Universidad de Jaén.
- Frank, S. (1982). *Glass and archaeology*. Londres.
- Frontino, S. J. (1985). *De aquaeductu urbi Romae*. (T. González Rolán, trad.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- G. Fagan, G. (1993). *Three Studies in Roman Public Bathing: Origins, Growth and Social Aspects*. McMaster University.
- Gallego Franco, H. (2003). "Herederas hispanorromanas: su caracterización onomástica y social a través de las fuentes epigráficas", *Hispania Antiqua*, 27, pp. 171-200.
- Gallo, P. (1991). *Terme e bagni in Pompei antica*. Pompei: Tip. Sicignano.
- Galve Izquierdo, M. P. (1980). "Excavaciones arqueológicas en Varea (Logroño, Rioja): El hipocausto romano", *Cuadernos de investigación. Historia*, t. 6 (1-2), pp. 19-50.
- García Entero, V. (2007). "El ocio en el ámbito doméstico de la Arquitectura hispanorromana: las termas", *Anales de Prehistoria y Arqueología*, 23-24, pp. 253-272. Recuperado a partir de <http://revistas.um.es/apa/article/view/178121/149621>
- García Moreno, C. (2015). "Soluciones para el abastecimiento de agua en una ciudad romana el ejemplo de Pompeya", en *Estudios arqueológicos del Área Vesubiana I = Archaeological studies of the Vesuvian area I*, pp. 84-93. Recuperado a partir de [http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario\\_peticones.php&tabla=peticones&relaciones\[\]=peticones\\_refbib&pestanaya=&campo=PETICION&texto=13701829&operadores\[sod\\_peticones.CODI\\_USU\]=IGU&campos\[sod\\_peticones.CODI\\_U](http://interbib.upv.es/gtb/gtbib.php?aplicacion=sod&tipo=consulta&plantilla=usuario_peticones.php&tabla=peticones&relaciones[]=peticones_refbib&pestanaya=&campo=PETICION&texto=13701829&operadores[sod_peticones.CODI_USU]=IGU&campos[sod_peticones.CODI_U)

- García Vaso, J. M. (1997). "Sacralidad de las aguas en contextos arqueológicos de culto mitráico", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 169-177. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Giovannoni, G. (1925). *La tecnica della costruzione presso i romani*. Roma.
- Gisbert Santonja, J. A. (1987). "La producció de vi al territori de Dianium durant l'Alt Imperi: El taller d'àmfores de la vil·la romana de l'Almadrava ( Setla-Mirarosa-Miraflor)", en *El vi a l'antiguitat. Economia, producció i comerç al Mediterrani Occidental*, pp. 104-118. Badalona.
- Gómez Araujo, M. L. (2010a). "Las termas menores de Itálica: una propuesta funcional del edificio", *Romula*, 9, pp. 117-154. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3649217>
- Gómez Araujo, M. L. (2010b). "El agua y las termas en la ciudad romana: el caso de Itálica (Santiponce, Sevilla)", en *2º Coloquio internacional de irrigación, energía y abastecimiento de agua: la cultura del agua en el Arco Mediterráneo. 3-9 de noviembre de 2008 en Alcalá de Guadaíra*, pp. 65-86. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Gómez Araujo, M. L. (2012). *Análisis arqueológico de las termas públicas de la Bética: arquitectura y función*. Universidad Pablo de Olavide.
- Gómez Barge, C., Salgado Barandela, J., y Sánchez Fernández, P. (2015). "Aprovechamiento turístico-deportivo de los recursos hídricos en la provincia de Ourense", en J. M. Faílde Garrido, A. Formella, J. A. Fraiz Brea, F. Gómez Pérez y V. R. Vázquez (eds.): *Congreso internacional del agua. Termalismo y calidad de vida*, pp. 217-223. Ourense: Universidad de Vigo. Recuperado a partir de [http://cidat.webs.uvigo.es/docs/PO\\_4.2.pdf](http://cidat.webs.uvigo.es/docs/PO_4.2.pdf)
- González, R. (2000). "Consideraciones funcionales y tipológicas en torno a los baños castreños del NO de la península ibérica", *Gallaecia*, 19, pp. 93-124.
- González Blanco, A., González Fernández, R., y Fernández Matallana, F. (1997). "El balneario de Fortuna. Un caso arquetípico de continuidad cultural", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 319-328. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- González Marón, S. (2006). "El libro 1 de la Historia Natural de Plinio el Viejo. ¿Texto o paratexto?", *Veleia*, 23, pp. 247-265.
- González Moreno-Navarro, A., y Moreno-Navarro, A. G. (1999). "Edificio de protección de las termas romanas de Sant Boi de Llobregat (Barcelona, España)", *Informes de la Construcción*, 51(463), pp. 5-22. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i463.862>

- Goulpeau, L. (s. f.). "Analyse archéomagnétique de structures en hypocauste", *Revue d'Archéométrie*, 1994, 18, pp. 43-51.
- Gozálvez Cravioto, E. (2007). "La demografía de la Hispania Romana tres décadas después", *Hant*, XXXI, pp. 181-208.
- Graciani, A. (2007). "Lectura paramental del caldarium y el tepidarium de las Termas de Carteia (San Roque, Cádiz) de apoyo a la restauración y la puesta en valor del conjunto", en *Actas de la I jornada nacional de investigación en edificación*, pp. 1165-1179. Madrid: UPM.
- Graciani, A. (2011). "Materiales y elementos constructivos del hypocaustis de las termas romanas de Carteia (San Roque, Cádiz)", en *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción: Santiago de Compostela, 26-29 de octubre de 2011*, vol 1., pp. 633-642. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4134682>
- Grützner, C., Reicherter, K., Hübscher, C., y Silva, P. G. (2012). "Active faulting and neotectonics in the Baelo Claudia area, Campo de Gibraltar (Southern Spain)", *Tectonophysics*, pp. 127-142. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.05.025>
- Guillén, J. (1978). *Urbs Roma. Vida y costumbres de los romanos. II. La vida pública*. Salamanca: Sígueme.
- Guiral Pelegrín, C. (2000). "Decoración pictórica de los edificios termales", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 115-121. Gijón: VTP Editorial.
- Gülser, F. F. (2007). "Wall heating systems in the roman period lycian baths, the examples from Patara and Tlos", *Adalaya*, X, pp. 223-258.
- Halicarnaso, D. De (1984). *Historia Antigua de Roma*. Gredos.
- Hermosilla Pla, J. (2011). *Lliria, historia geografía y arte: nuestro pasado y presente*. Universitat de València. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=571744>
- Herreros Hernández, T., y Viñez Pérez, A. (2005). "Las termas romanas de la calle Tapinería (Valencia): Primeros Resultados", *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló*, 24, pp. 271-290.
- Heseberg, H. (1992). *Römische Grabbauten*. Darmstad.
- Hewitt, S. (2000). *The urban domestic baths of roman Africa*. McMaster University.

- Hidalgo Prieto, R. (1991). "Sobre la interpretación de las termas de Cercadilla (Córdoba)", *Habis*, 27 (1996), pp. 189-203.
- Hipólito Correia, V., y Pilar Reis, M. (2000). "As termas de Conimbriga: tipologías arquitectónicas e integração urbana", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 271-280. Gijón: VTP Editorial.
- Hollmuller, P., y Lachal, B. (2001). "Cooling and preheating with buried pipe systems: Monitoring, simulation and economic aspects", *Energy and Buildings*, 33 (5), pp. 509-518. Recuperado a partir de [http://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00105-5](http://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00105-5)
- Hounslow, M. W., y Chepstow-Lusty, A. (2002). "Magnetic properties of charcoal rich deposits associated with a Roman bath-house , Butrint (Southern Albania)", *Physics and Chemistry of the Earth*, 27(December), pp. 1333-1341. Recuperado a partir de [http://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00120-1](http://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00120-1)
- Hübner, E. (1869). *Corpus Inscriptionum Latinorum. Volumen Secundum. Inscriptionum Hispaniae Latinae*. Berlin: Edidit AEM.
- Huecas Atenciano, J. M. (1997). "Los baños romanos de la Luisiana (Sevilla)", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 354-362. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. (2008). *Catálogo de elementos constructivos del CTE* (Mayo 2008). Madrid. Recuperado a partir de [http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto\\_0012.html](http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0012.html)
- Isabel, S., Hernández, N., Prehistoria, D. de, Antigua, H., Aquae, D., Augusta, B., y Augusta, A. (2008). "Conjuntos termales públicos en ciudades romanas de la cuenca del Duero", *Zephyrus*, 62, pp. 163-193.
- Isigns, C. (1971). *Roman glass in Limburg (Archaeologica Traiectina IX)*. Gronigen.
- Ismail, D., y Ecole, E. (2012). "Penser et Enseigner une discipline: un positionnement à transmettre dans l'interaction", en *Biennale internationale de l'éducation, de la formation et des pratiques professionnelles*, pp. 1-15. France.
- Jackson, R. (1990). "Waters and spas in the classical world", *Medical History. Supplement*, 10, pp. 1-13. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1017/S0025727300070952>
- Janssen, E., Poblome, J., Claeys, J., Kint, V., Degryse, P., Marinova, E., y Muys, B. (2017). "Fuel for debating ancient economies. Calculating wood consumption at urban scale in Roman Imperial times", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 11

(February), pp. 592-599. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.12.029>

- Jiménez, F. (1889). "Epigrafía latina de Liria", *Las provincias*. Valencia.
- Jiménez, J. L. (1995). "Un monumento funerario romano en forma de altar procedente de Valencia", *Saguntum*, 29, pp. 211-220.
- Jiménez-Castellanos Lucena, F. (2012). *Simulación numérica de incendios en edificios tipo atrio*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
- Jiménez Salvador, J. L. (1995). "Referencias historiográficas sobre el acueducto de Peña Cortada (Los Serranos, Valencia)", *ARSE. Boletín Anual del Centro Arqueológico Saguntino*, 1994-1995.
- Jiménez Salvador, J. L. (2003). "La cultura del agua en Hispania romana", en L. Abad Casal (ed.): *De Iberia in Hispaniam: La adaptación de las sociedades ibéticas a los modelos romanos*, pp. 317-347. Alicante: Universidad de Alicante.
- Jiménez Salvador, J. L., Burriel Alberich, J. M., y Ruiz Soriano, A. L. (2012). "IX Campaña de excavaciones arqueológicas en el yacimiento romano de L'Horta Vella (Bétera, Valencia)", *Saguntum. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 43, pp. 219-222. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.7203/SAGVNTVM.43.1660>
- Jones, I. (1715). *The architecture of A. Palladius in four books containing a short treatise of the five orders and the most necessary observations concerning all sorts of building*. (J. Watts, Ed., G. Leoni, trad.). Londres: John Watts.
- José, M., Gómez, B., Carlos, J., y Di, G. (2016). "Las referencias al lapis specularis en la Historia Natural à Plinio El Viejo", *Pallas*, 75, pp. 49-57. Presses Universitaires du Midi Stable. Recuperado a partir de <http://www.jstor.org/stable/43606560>
- Juan, E., y Pastor, I. (1989). "Los visigodos en Valencia. Pla de Nadal: ¿una villa áulica?", *Boletín de Arqueología Medieval*, 3, pp. 137-179.
- Jurado Jiménez, F. (2005). "Toledo: las termas romanas de la Plaza de Amador de los Rios TT - Toledo: the Roman baths in the Plaza de Amador de los Rios", *Restauración & Rehabilitación*, 95, pp. 38-45.
- Kalavrousiotis, I. K., y Angelakis, A. N. (eds.) (2014). *Regional symposium on water, wastewater and environment: traditions and culture*. Patras, Grecia: Hellenic Open University.
- Koçyiğit, O., Biers, J., Lightfoot, C. S., Ivison, E. A., Lightfoot, C. S., Mergen, Y., ... Sanders, G. D. R. (2006). "Terracotta spacers from the bathhouse at Amorium",

*Anatolian Studies*, 56 (3), pp. 113-125. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1017/S00661546000079X>

- Kountoura-Galake, E. (2001). *The dark centuries of Byzantium (7th-9th c.)*. Atenas.
- Kröner, S., y Doménech Carbó, M. T. (2011). *Informe analítico LAC 1128*. Valencia: Instituto universitario de restauración del patrimonio UPV.
- Labrousse. M. (1963). "Les thermes romains de Cahors", *Gallia*, 21 (1), pp. 191-225. Recuperado a partir de [https://www.jstor.org/stable/pdf/43604458.pdf?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/pdf/43604458.pdf?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Lacort Navarro, P. J. (1982). "Sobre las construcciones romanas del Carchena (Término municipal de Castro del Río, Córdoba)", *Habis*, 13, pp. 171-188.
- Lago Navia, D. (2012). *Caracterización térmica de la fachada de un edificio histórico en valencia*. Universitat Politècnica de València. Recuperado a partir de [http://www.researchgate.net/publication/39429829\\_Analisis\\_de\\_aplicaciones\\_en\\_entornos\\_de\\_seguridad\\_y\\_emergencias\\_en\\_red\\_TETRA](http://www.researchgate.net/publication/39429829_Analisis_de_aplicaciones_en_entornos_de_seguridad_y_emergencias_en_red_TETRA)
- Lagóstena Barrios, J. G., Cañizar Palacios, J. L., y Pons Pujol, L. (eds.) (2010). *AQVUAM·PERDVCENDAM·CVRAVIT Captación, uso y administración del agua en las ciudades de la Bética y el occidente romano*. Cádiz: Universidad de Cadiz.
- Le Ny, F. (1988). "Les forns de tuiliers gallo-romains. Méthodologie e étude technologique, typologique et statistique. Cronologie", *Document d'Archaeologie Francaise*, 12.
- Lehar, H. (2013). "The Roman Hypocaust Heating System. Calculations and thoughts about construction, performance and function", en *Proceedings of the 17th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2012*, pp. 1-22. Viena: Museen der Stat Wien. Recuperado a partir de <http://www.chnt.at/proceedings-chnt-17/>
- León Tello, F. J., y Sanz Sanz, M. V. (1994). *Estética y teoría de la arquitectura en los tratados españoles del siglo XVIII*. Madrid: CSIC.
- Lewis, M. (s. f.). "Culture of building", Early services. Melbourne: University of Melbourne. Recuperado a partir de <http://www.mileslewis.net/lectures/04-history-of-building/COB-13-early-services.pdf>
- Lippold, G. (1922). "Herakles-Mosaik von Liria", *Jahrbuch des Deutschen Archaeologischen Instituts*, 37, pp. 1-17.
- Lledó Cardona, N. (2005). "Un monedero de fines del s. III encontrado en Edeta", en A. Ribera Lacomba y P. P. Ripollés (eds.): *Tesoros monetarios de Valencia y su entorno*. Valencia.

- Llobregat, E. (1977). *La primitiva cristiandad Valenciana. Segles IV al VIII*. Valencia: L'Estel.
- Llorens, M. M., Ripollés, P. P., y Doménech, C. (1977). *Monedes d'ahir, tresors de hui*. Valencia: Diputació de València.
- Loiseau, C., Fort, B., y Tisserand, N. (2013). "Le métal dans la construction des édifices publics de l'Antiquité (sanctuaires et thermes)", *Les nouvelles de l'archéologie*, 131, pp. 48-53. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.4000/nda.1794>
- Lombardi, L., y Corazza, A. (1995). *Le terme di Caracalla*. (F. Coarelli, Ed.) (2ª, 1996). Roma: Fratelli Palombi Editori.
- López Monteagudo, G. (1997). "Termas y tecnología de las aguas. testimonios musivos", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 453-406. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- López Mullor, A., y Fierro Macía, X. (2002). "Últimas intervenciones en las termas romanas de Sant Boi de Llobregat. Datación y tipología", *Empuries*, 53, pp. 261-296. Recuperado a partir de <http://www.raco.cat/index.php/Empuries/article/view/95662/288346>
- López Seguí, E., Baños Serrano, J., y López Martínez, F. J. (1999). "Termas de la Alhama de Murcia. Excavación arqueológica y consolidación parcial de la zona occidental del conjunto termal romano", *Memorias de Arqueología*, 14, pp. 355-386.
- Lugli, G. (1957). *La tecnica edilizia romana: con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Roma: Bardi.
- Madoz, P. (1982). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de Alicante, Castellón y Valencia*. Valencia.
- Malanima, P. (2011). "Energy consumption and energy crisis in the Roman world", *Environmental history conference*, 1-20.
- Maqueda García-Morales, R. (2000). "Reconstrucción virtual del complejo termal de la Villa de la Torre Águila, Barbaño, Montijo (Badajoz)", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 437-440. Gijón: VTP Editorial.
- Maraković, N., y Turković, T. (2013). "Velike salonitanske terme– nova razmatranja prostorne organizacije kupališnoga sklopa", *Rad. Inst. provij. umjet.*, 37, 7-22.
- Maréchal, S. (2012). "Research on Roman bathing: old models and new ideas", *Revue belge de philologie et d'histoire*, 90 (1), pp. 143-164. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.3406/rbph.2012.8393>

- Marques Calvo, J. J. (2005). *Intervención virtual en el patrimonio arquitectónico basada en las tecnologías de la información. Estudio teórico y aplicación práctica. Las termas romanas de Sant Boi de Llobregat*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Martín, A. (2000). "Las termas republicanas de Cabrera del Mar (Maresme, Barcelona)", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 157-162. Gijón: VTP Editorial.
- Martín-Bueno, M., Reklaityte, I., Sáenzpreciado, J. C., y Uribe Agudo, P. (2007). "Baños y Letrinas en el Mundo Romano: el caso del Balneum de la Domus 1 del barrio de las Termas de Bilibis", *Zephyrus*, 60, pp. 221-239.
- Martín Camino, M. (1996). "Observaciones sobre el urbanismo antiguo de Carthago-Nova y su arquitectura a partir de sus condicionantes orográficos", *AnMurcia*, 11-12, pp. 205-213.
- Martín Gil y Gil, M. (1969). "La romanización del Campo de Liria", *Papeles del Laboratorio de Arqueología Valenciana*, 7, pp. 23-54.
- Martín Jordá, C., y Ribera Lacomba, A. (2000). "Un caso precoz de edificio termal: Los baños republicanos de Valencia", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 151-156. Gijón: VTP Editorial.
- Martínez, F. (1991). *Informe preliminar. Excavación ampliación Pabellón Pla de l'Arc. Informe de excavación mecanografiado*. Lliria: Museu Arqueològic de Lliria.
- Martínez, F., y Asensi, F. (1992). "El templo de las ninfas de Lliria: un intento de ubicación", en *Llibre de la Fira i Festes de Sant Miquel 1992*. Lliria.
- Martínez, F., Carrión, J., y Antoni, C. (1993). "Una Domus romana al carrer de Sant Miquel 8 de Lliria", *Lauro*, 7.
- Martínez, T., y Micó, I. (1991). *Vocabulari de Mitologia*. València. Valencia.
- Marzano, A. (2007). *Roman Villas in Central Italy: a Social and Economic History*. Boston: Brill.
- Mateos Cruz, P., Ayerbe Vélez, R., Barrientos Vera, T., y Feijoo Martínez, S. (2002). "La gestión del agua en Augusta Emerita", *Empúries (Ejemplar dedicado a: La gestió de l'aigua a les ciutats romanes d'Hispania)*, 53, pp. 67-88.
- Mazois, F. (1838). *Ruines de Pompei*. París.
- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., y Overholt, K. (2017). Sixth Edition. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide*.

Volume 3: Validation, 1, pp. 1-746. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1018-1>

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., y Overholt, K. (2017). Sixth Edition. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 2: Verification, 2. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1018-1>

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., y Overholt, K. (2017). Sixth Edition. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model, 1, pp. 1-147. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1018-1>

McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., y Overholt, K. (s. f.). Fire Dynamics Simulator User's Guide. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1019>

McParland, L. C., Hazell, Z., Campbell, G., Collinson, M. E., y Scott, A. C. (2009). "How the Romans got themselves into hot water: temperatures and fuel types used in firing a hypocaust", *Environmental Archaeology*, 14 (2), pp. 176-183. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1179/146141009X12481709928445>

Medri, M., Di Cola, V., Carandini, A., y Panella, C. (2013). *Ostia V - Le Terme del Nuotatore. Cronologia di un'insula ostiense*. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Melchor, E. (1992). "Construcciones cívicas y evergetismo en Hispania Romana", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, 6, pp. 443-466.

Mezquíriz, M. Á. (1956). "Excavación estratigráfica en el área urbana de Pompaelo", *Noticario arqueológico hispánico*, 10-11.

Miró Alaix, C., Díez de Velasco, F., y Pérez Agorreta, M. J. P. (1992). "Introducción bibliográfica al termalismo antiguo en la Península Ibérica", *Espacio, tiempo y forma. Serie II. Historia Antigua*, 5, pp. 595-604. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.5944/ETFII.5.1992.4208>

Miró i Alaix, C. (1997). "La arquitectura termal medicinal de época romana. Morfología y funcionalidad", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 369-375. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Mobellán Fernández, J., y Matías Bóveda, M. (2012). *Patrimonio histórico español del juego y del deporte: termas romanas en la península ibérica*. Museo del juego. Recuperado a partir de [http://museodeljuego.org/wp-content/uploads/contenidos\\_0000001468\\_docu1.pdf](http://museodeljuego.org/wp-content/uploads/contenidos_0000001468_docu1.pdf)

- Monaco, R. di. (2013). *Il calidarium delle Terme di Minturno*. Seconda Università degli Studi di Napoli.
- Montalbán Carmona, J. A., y Alapont Muñoz, M. J. (2014). "Aqua vita est. La canalització de l'aigua al món romà: el cas de l'aqüeducte de Peña Cortada", *Clapir. Joves historiadors i historiadors valencians* (novembre), pp. 1-18.
- Mora, G. (1981). "Las termas romanas en Hispania", *Archivo Español de Arqueología*, 54 (143/144), pp. 37-89.
- Morales Segura, M. (2007). "La sección constructiva a lo largo de la historia en los edificios destinados a baños terapéuticos y/o lúdicos. Época romana", en M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno y S. Huerta (eds.): *Actas del Quinto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Burgos, 7-9 junio 2007*, pp. 685-688. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Sociedad Española de Historia de la Construcción.
- Moreno Gallo, I. (2014). "Abastecimientos de agua romanos. Nuevas perspectivas", en *De aqueductu atque aqua urbiū lyciae pamphyliæ pisidiæ. The egacy of Sextus Julius Frontius*. Antalya: Traianvs.
- Morillo Cerdán, Á., y Salido Domínguez, J. (2010). "Labrum romano procedente de las termas del campamento de la Legio VII gemina en León" (*Roman labrum from the therms at legio VII gemina camp in León*), *Zephyrus*, 65, pp. 167-178.
- Morillo Cerdán, Á., y Salido Domínguez, J. (2011). "Labra de época romana en Hispania", *Archivo Español de Arqueología*, 84 (0), pp. 153-178. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.3989/aespa.084.011.006>
- Mourelle, L., Legido, J. L., Gómoez, C. P., Arribas, M., y Meijide, R. (2013). "Ciencia y técnica del termalismo", *Investigación. Cultura, ciencia y tecnología*, 10, pp. 26-33.
- N. K. Bansal, S. (1998). "Charasteristic parameters of a hypocaust construction", *Building and Environment*, 34 (3), pp. 305-318. Recuperado a partir de [http://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00018-3](http://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00018-3)
- Nauleau, J. F. (2013). "Les matériaux de construction en terre cuite d'époque romaine dans l'ouest des Pays de la Loire – Premier bilan", *Reveu archéologique de l'Ouest*, 30, pp. 223-259.
- Navarro, P. J. L., y Cuenca, G. G. (1997). "Documentos arqueológicos y epigráficos relativos a cultos de agua de época romana en la provincia de Córdoba", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Nielsen, I. (1985). "Considerazioni sulle prime fasi dell'evoluzione dell'edificio termale romano", *Analecta Romana Instituti Danici*, 14.

- Nogales, T., y González, J. (eds.) (2007). *Culto imperial. Política y poder*. Universidad de Sevilla.
- Nolla i Brufau, J. M (1978). *La ciudad romana de Gerunda*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Nolla i Brufau, J. M. (2000). "Las termas republicanas en Hispania", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 47-57. Gijón: VTP Editorial.
- Núñez Hernández, S. I. (2008). "Conjuntos termales públicos en ciudades romanas de la Cuenca del Duero", *Zephyrus*, LXII, pp. 163-193.
- Oetelaar, T. (2013a). "Reconstructing the Baths of Caracalla", en *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2013.12.002>
- Oetelaar, T. A. (2013b). *An innovative investigation of the thermal environment inside the reconstructed Caldaria of two ancient roman baths using computational fluid dynamics*. University of Calgary.
- Oetelaar, T., Johnston, C., Wood, D., Hughes, L., y Humphrey, J. (2013). "A computational investigation of a room heated by subcutaneous convection. A case study of a replica Roman bath", *Energy and Buildings*, 63, pp. 59-66. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.049>
- Ortega-Andrade, F. (1994). "La construcción romana (I)", *Revista de edificación: RE*, 19, pp. 45-59. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10171/16634>
- Ortega-Andrade, F. (1995a). La construcción romana (II). *Revista de edificación: RE*, 20. Recuperado a partir de <http://dadun.unav.edu/handle/10171/16646>
- Ortega-Andrade, F. (1995b). La construcción romana (Y III). *Revista de edificación: RE*, 20, pp. 45-63. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10171/16665>
- Osanna, M., y Torelli, M. (2006). *Sicilia Ellenistica, consuetudo Italica. Alle origini dell'architettura ellenistica d'occidente*. Roma: Dell'ateneo, Edizioni.
- Pacheco Jiménez, C., y Moraleda Olivares, A. (1997). "Aportación al estudio de estructuras termales en Talavera de la Reina (Toledo)", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 427-436. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Pavía Page, M. (2016). "Termas públicas del Conventus Carthaginei. Primera aproximación a su catalogación y estudio", *Cuadernos de Arqueología*, 24, pp. 81-101. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.15581/012.24.009>

- Pavón Maldonado, B. (1997). "En torno al acueducto y la rueda hidráulica árabe de Toledo según Idrisi", *Al-Andalus Magreb: Estudios árabes e islámicos*, 5, pp. 273-293.
- Payà Mercè, X. (2005). "Una luxosa domus amb bany privat a la ciutat d'Ilerda INT-148", *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 15, pp. 359-361.
- Peña Domínguez, P. (2013). "Hypocaustum. Historia de una reconstrucción", *Blog 3D Revista Online*.
- Perea Yébenes, S. (1997). "Baños para soldados y el culto de Fortuna", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 149-167. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Pérez Agorreta, M. J. (ed.). (1997). *Termalismo antiguo: I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Pérez Agorreta, M. J. (1998). Base de datos sobre termas romanas, (1991), 1-30.
- Pérez García, A., y Fernández Díaz, A. (2005). "Pintura mural romana del Camino Colonia Romana (La Albufereta, Alicante)", *ROMULA*, 4, pp. 177-212.
- Pérez Losada, F. (1992). "Hipocaustos na Galicia romana", *Gallaecia*, 13, pp. 129-176. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3320719>
- Pérez Mínguez, R. (1997). "El culto al agua en la Hispania Prerromana", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 163-240. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Pérez Morillo, M. del M. (1997). "Pervivencia de los conocimientos termales de la antigüedad en los escritores neolatinos de los siglos XVI al XVIII", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 21-28. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Petteno, E. (1997). "Acque termali e uso terapeutico del bagno nel mondo romano", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 217-227. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Pizzo, A. (2008). "El análisis de la arquitectura romana: cuestiones metodológicas y propuesta para el estudio de los aspectos tecnológicos", *AnMurcia*, 2007-2008 (23-24), pp. 75-88.
- Pizzo, A. (2009). "La arqueología de la construcción. Un laboratorio para el análisis de la arquitectura de época romana", *Arqueología de la Arquitectura*, 6, pp. 31-45. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.3989/arqarqt.2009.09001>

- Plinio el Viejo. (1624). "Mineralogía, usos de la tierra, pigmentos, discusión sobre el arte de la pintura y el uso del sulfuro", en G. de Huerta (trad.): *Naturalis Historia*. Recuperado a partir de [http://alfama.sim.ucm.es/dioscorides/consulta%7B\\_%7Dlibro.asp?ref=B18803994%7B&%7Didioma=0](http://alfama.sim.ucm.es/dioscorides/consulta%7B_%7Dlibro.asp?ref=B18803994%7B&%7Didioma=0)
- Pollionis, M. Vitruvii (1997). *De Architectura (Opus in libris decem)*. Alianza Forma (edición digital).
- Porcelli, V., Cotino Villa, F., Blasco i Senabre, J., Escrivà Torres, V., y Esteban Chapapría, J. (2012). "3D Laser Scanning and Virtual Reconstructions , their integration as research and educational tools for representing the past. Case study: the Virtual Roman Baths of Edeta", en I. R. and D. W. Earl, Graeme, Tim Sly, Angeliki Chrysanthi, Patricia Murrieta-Flores, Constantinos Papadopoulos (ed.): *CAA2012 Proceedings of the 40th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton, United Kingdom, 26-30 March 2012*, pp. 133-144. Southampton: Amsterdam University Press.
- Quintela, M. M. (2004). "Saberes e práticas termais: uma perpectiva comparada em Portugal (Termas de S. Pedro do Sul) e no Brasil (Caldas da Imperatriz)", *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, 11(suplemento 1), pp. 239-260. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1590/S0104-59702004000400012>
- Ramallo Asensio, S. F. (1990). "Termas romanas de Carthago Nova y alrededores", *Anales de Prehistoria y Arqueología*, 5-6, pp. 161-177.
- Ramírez Ortega, A., Rial Lemos, M. E., y Ramírez Masferrer, J. Á. (2007). "Las Aguas Minero-Medicinales De Galicia: Un Patrimonio Geológico Singular", *De Re Metallica*, 8, pp. 49-64.
- Rebuffat, R. (1989). "Note préliminaire sur les grands thermes d'Apollonia", *Lybia antiqua*, XV-XVI, pp. 263-277.
- Rebuffat, R. (1991a). "Thamusida", en *Mélanges d'Archéologie et d'Histoire II*, pp. 1-34. Paros: École Française de Rome.
- Rebuffat, R. (1991b). "Vocabulaire thermal. Documents sur le bain romain", *C.E.F.R.*, 142 (Les thermes romains), pp. 1-34.
- Rebuffat, R., Broise, H., Jolivet, V., Thébert, Y., Lenoir, E., y Scheid, J. (1991). *Les thermes romains. Actes de la table ronde organisée par l'École française de Rome (Rome, 11-12 novembre 1988)*. Rome: Ecole française de Rome.
- Reece, R., Hawkes, S. C., y Dunning, G. C. (1980). "Town and country: The end of Roman Britain", *World Archaeology*, 12 (1), pp. 77-92. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1080/00438243.1980.9979782>

- Reeves, M. B. (1996). *The roman bath-house at Humeina in its architectural and social context*. Tesis de University of Victoria. Recuperado a partir de <http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/ftp04/mq21915.pdf>
- Reggiani, A. M. (ed.) (2000). *Villa Adriana. Paesaggio antico e ambiente moderno: elementi di novità e ricerche in corso*. Milán: Electa.
- Reklaityte, I. (2004). "Las condiciones higiénico-sanitarias en las ciudades europeas: introducción al análisis", *Salvdie*, 4, pp. 229-245.
- Ribera Lacomba, A. (1998a). *50 Años de Viaje Arqueológico en Valencia*. Valencia: Servicio de Investigación Arqueológica Municipal de Valencia.
- Ribera Lacomba, A. (1998b). "El final del mundo Romano y el período Visigodo. El Bajo Imperio (S.IV-V): Cambios y continuidad urbana", en *50 Años de Viaje arqueológico en Valencia*. Valencia: Servicio de Investigación Arqueológica Municipal de Valencia.
- Ricciardi, M. A., y Scrinari, V. S. M. (1996). *La civiltà dell'acqua in Ostia Antica*. Roma: Fratelli Palombi Editori.
- Ring, J. W. (1996). "Windows, baths, and solar energy in the Roman Empire", *American journal of archaeology: the journal of the Archaeological Institute of America*, 100 (4), pp. 717-724. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.2307/506675>
- Ríos, J. (1759). *A los edetanos o a los hijos de Liria*. Valencia.
- Ripollés, P. P. (s. f.). *La circulación monetaria en la Tarraconensis mediterránea*. Trabajos Varios del S.I.P., 77.
- Rivas, L., Arias, M. J., y Martínez, F. (1991). "Nuevas aportaciones en torno a la arquitectura funeraria romana: el edificio nº 2 de la necrópolis de Lliria (Valencia)", *Lauro*, 5, pp. 159-171.
- Robador, M. D., Pérez-Rodríguez, J. L., Durán, A. (2010). "Hydraulic structures of the Roman Mithraeum house in Augusta emerita, Spain", *Journal of Archaeological Science*, 37 (10), pp. 2426-2432. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.jas.2010.05.003>
- Roda, I. (1993). "Los materiales de construcción en Hispania", en *La ciutat en el món romà. XIV congreso internacional de arqueología*, pp. 323-334. Tarragona. Recuperado a partir de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/700/1/204-430-1-PB.pdf>
- Roldán Gómez, L. (1987). "Aproximación metodológica al estudio de la técnica edilicia romana en Hispania, en particular el opus testaceum", *Lucentum*, 6, pp. 101-122.

- Roldán Gómez, L. (1992). "Técnicas constructivas romanas en Carteia (San Roque, Cádiz)", en *Monografías de Arquitectura Romana, I*.
- Roldán Gómez, L. (1995). "Aspects constructifs des thermes romain de la Baetica", en *Atti dell'XII Convegno di Studi sull'Africa romana (Cartagine, 15-18 dicembre 1994)*, pp. 789-821. Sassari.
- Roldán Gómez, L., y Bustamante Álvarez, M. (2016). "Desde las figlinae a los edificios: el uso del barro cocido en el sur de la Baetica", *Arquología de la arquitectura*, (13), pp. 1-22. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.3989/arq.arqt.2016.165>
- Rolland, H. (1946). "Les fouilles de Glanum (Saint Remy de Provence)", *Gallia*, (Suppl), pp. 49-65.
- Rook, T. (1978). "The development and operation of Roman hypocausted baths", *Journal of Archaeological Science*, 5 (3), pp. 269-282. Recuperado a partir de [http://doi.org/10.1016/0305-4403\(78\)90044-4](http://doi.org/10.1016/0305-4403(78)90044-4)
- Roselló, M. (1996). "El yacimiento de València la Vella (Riba-roja de Túria, Valencia). Algunas consideraciones para su atribución cronológica y cultural", *Quaderns de prehistòria i arqueologia de Castelló*, 17, pp. 435-454.
- Sánchez López, E., y Martínez Jiménez, J. (2016). *Los acueductos de Hispania*. Madrid: Ediciones del Umbral.
- Sánchez Moral, S., García Guinea, J., Luque, L., González Martín, R., y López Arce, P. (2010). "Cinética de carbonatación de morteros experimentales de cal de tipo romano", *Materiales de Construcción*, 54 (275), pp. 23-38. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1001010>
- Sanchís Moreno, F. J., García Gómez, A., Rodríguez i Muñoz, J. V, y Rodríguez Molina, M. J. (2010). *Mapas y Planos (1678-1884)*. Valencia: Diputació de València. Arxiu General i Fotogràfic.
- Sánchez Rodríguez, J. (1984). "Termodinámica del colapso por calor húmedo (hipertermia)", *Revista de Meteorología*, 3, pp. 49-58.
- Sandklef, A. (1976). "The heating of classical thermae", *Opuscula Romana*, 11.
- Schram, W. D. (2014). "Dynamic control elements in roman aqueducts. A reconnaissance study", en *Cura Aquarum in Israel II. Water in Antiquity. Proceedings of the 15th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region*, (October 2012), pp. 229-246.
- Schwarte, K. H. (1979). "Trajans Regierungsbeginn und der Agricola de Tacitus", *Bonner Jahrbücher*, 179, pp. 139-175.

- Segard, M. (2007). "Baratier. Clapier des Monges", *ADLFI. Archéologie de la France - Informations*. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.4000/adlfi.6650>
- Silva, P. G., Borja, F., Zazo, C., Goy, J. L., Bardají, T., De Luque, L., ... Dabrio, C. J. (2005). "Archaeoseismic record at the ancient Roman City of Baelo Claudia (Cádiz, south Spain)", *Tectonophysics*, 408(1-4), pp. 129-146. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.031>
- Silva, P. G., Giner-Robles, J. L., Reicherter, K., Rodríguez-Pascua, M. A., Grützner, C., García Jiménez, I., ... Zazo, C. (2016). "Los terremotos antiguos del conjunto arqueológico romano de Baelo Claudia (Cádiz, Sur de España): Quince años de investigación arqueosismológica", *Estudios Geológicos*, 72 (1). Recuperado a partir de <http://doi.org/10.3989/egeol.42284.392>
- Soprano, P. (1961). "Via Nucерina. Sepolcri di età romana", *NSc*. VIII XV, pp. 189-200.
- Staccioli, R. A. (2005). *Acquedotti, fontane e terme di Roma antica: i grandi monumenti che celebrarono il "trionfo dell'acqua" nella città più potente dell'antichità*. Roma: Newton & Compton.
- Stober, I., y Bucher, K. (2013). "History of Geothermal Energy Use", en *Geothermal Energy*, pp. 15-24. Berlín, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1007/978-3-642-13352-7>
- Taracena Aguirre, B., y Vázquez de Parga, L. (1949). "La "villa" romana del Ramalete (término de Tudela)", en *Excavaciones en Navarra. Príncipe de Viana*, 10 (34), pp. 9-46.
- Tendero Porras, M., y Ronda Femenia, A. M. (2014). "La ciudad romana de Ilici (L'Alcudia de Elche, Alicante)", en M. H. Olcina Doménech (ed.): *Ciudades Romanas Valencianas*, pp. 226-249.
- Thebert, Y. (2003). "Problèmes de circulation dans les thermes d'Afrique du nord", en *Thermes romains d'Afrique du nord et leur contexte méditerranéen*, pp. 139-149.
- Tsiolis, V. (2001). "Las termas de Fregellae. Arquitectura, tecnología y cultura balnear en el Lacio durante los siglos III y II a.C.", *Cuadernos de prehistoria y arqueología Universidad autónoma de Madrid*, 27, pp. 85-114.
- Turkovic T., Bogdan Z., y Jurkovic M. (2011). "Heating system in the ancient world: the example of the southwestern balneum in Diocletian's palace in Split", en *8th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, pp. 423-431. Pointe Aux Piments, Mauritius.
- Uğurlu, E., y Böke, H. (2009). "The use of brick-lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings", *Construction and Building Materials*,

23 (6), pp. 2442-2450. Recuperado a partir de  
<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.10.005>

Valcárcel Pio de Saboya, A. de (s. f.). *Inscripciones y Antigüedades del Reino de Valencia... ilustradas por D. Antonio Delgado*. Madrid: MRAH.

Vázquez Hoys, A. M. (1997). "Artemis-diana. Diosa del elemento húmedo y de las aguas termales", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 179-185. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Vázquez, J. L. (2004). "La ecuación de Navier-Stokes. Un reto físico-matemático para el siglo XXI", *Monografías de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza*, 26, pp. 31-56. Recuperado a partir de  
<http://www.unizar.es/acz/05Publicaciones/Monografias/MonografiasPublicadas/Monografia26/031Vazquez.pdf>

Velasco Abellán, F. P. de (1997). "Termalismo y religión: Consideraciones generales", en M. J. Pérex (ed.): *Termalismo antiguo. I Congreso peninsular: actas: Arnedillo (La Rioja), 3-5 octubre 1996*, pp. 95-104. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Villaronga, L. (1960). "Las monedas ibéricas con leyenda lauro", *Nummus*, VI, pp. 59-99.

VV. AA. (2007). "Les thermes en Gaule romaine", *Dossiers d'Archéologie*, 323.

Whitmore, A. M. (2013). *Small finds and the social environment of the Roman baths*. Universidad de Iowa.

Wikander, Ö. (2000). *Handbook of Ancient Water Technology*. Brill. Recuperado a partir de  
<https://books.google.es/books?id=qyBoQgAACAAJ>

Wilson, A. (2002). "Machines, Power and the Ancient Economy", *The Journal of Roman Studies*, 92 (September), pp. 1-32. Recuperado a partir de  
<http://doi.org/10.2307/3184857>

Xusto Rodríguez, M. (2000). "La villa romana de Riocaldo (Lobios, Ourense) y su ámbito termal", en C. Fernández Ochoa y V. García Entero (eds.): *II Coloquio Internacional de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, pp. 297-304. Gijón: VTP Editorial.

Yegül, F. (2002). *Bathing in Public in the Roman World*. Recuperado a partir de  
[https://books.google.com/books?id=R6tz\\_TzSVkAC&pgis=1](https://books.google.com/books?id=R6tz_TzSVkAC&pgis=1)

- Yegül, F., y Couch, T. (2003). "Building a roman bath for the cameras", *Journal of Roman Archaeology*, 16, pp. 153-177.
- Zevi, F. (1967). "Saggi di scavo alle terme del Nettuno", *Fasti archaeologici*, 18-19.
- Zhuang, Z., Li, Y., Chen, B., y Guo, J. (2009). "Chinese kang as a domestic heating system in rural northern China — A review", *Energy and Buildings*, 41 (1), pp. 111-119. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.07.013>
- Zhuang, Z., Li, Y., Chen, B., Guo, J., Yegül, F., Turkovic T, ... Abad Casal. (2011). "Penser et Enseigner une discipline: un positionnement à transmettre dans l'interaction", *Energy and Buildings*, 37 (1), pp. 7-22. Recuperado a partir de [http://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00120-1](http://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00120-1)

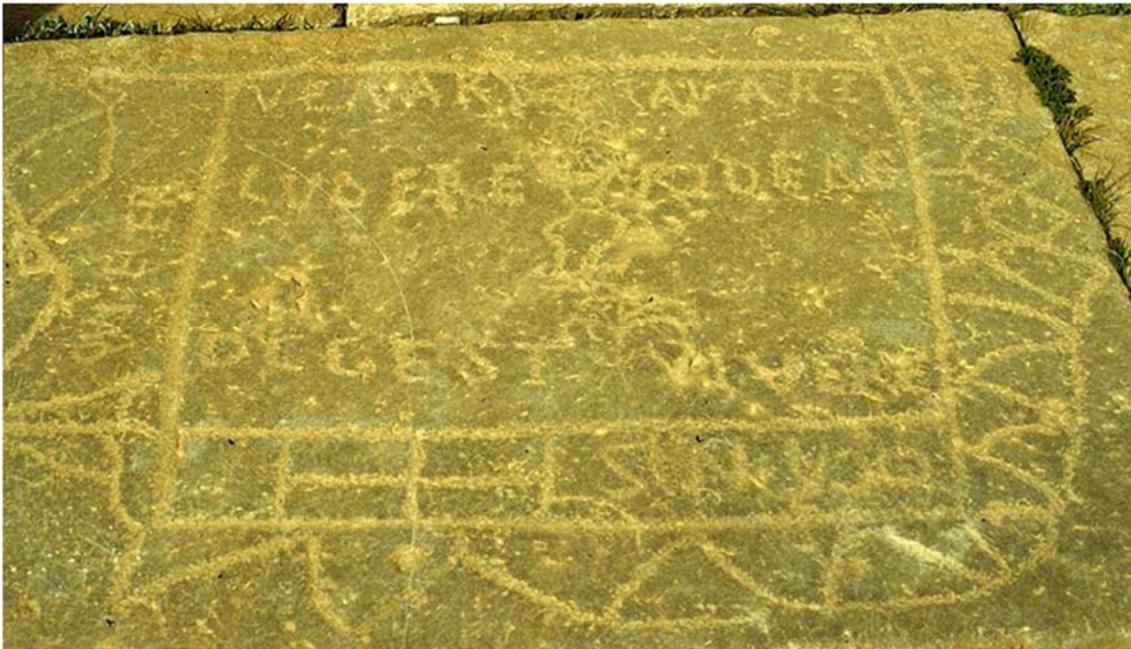


Ilustración 392. Timgad, inscripción en el pavimento en la entrada de las termas del Foro, (Foto: R. Gogräfe).

Venari, lavari, luderi, rideri, ...occ [hoc] est vivere

Cazar, bañarse, jugar, reir, ...(luego) esto es VIDA

## AGRADECIMIENTOS

Sirva esta última hoja de esta tesis para agradecer, de una forma simple, humilde, modesta y enérgica, la colaboración y ayuda prestada por compañeros, amigos y familiares sin cuyo trabajo, apoyo y ánimo no hubiera podido finalizar.

En primer lugar, a mis tres directores, **D. Javier Benlloch**, que, con su tesón, ánimo e insistencia ha permitido que el documento final pudiese ver la luz; **D. Julián Esteban**, que tras tantos años de relación profesional ha conseguido que con sus magistrales explicaciones y razonamientos pudiese entender las incógnitas que una construcción tan singular ofrece, y cuyas enseñanzas me hicieron, al tiempo, crecer y aumentar las actitudes, aptitudes y destrezas necesarias para mi vida profesional y personal; **D. Rafael Royo**, por su complicidad, cercanía, dedicación y ánimo en los temas más complejos de esta investigación y que han permitido llegar a conclusiones muy importantes e interesantes que sin su ayuda no hubieran podido escribirse.

En segundo lugar, pero al mismo nivel, a los amigos **Carles Grau, Xavier Vidal, Carmen Martínez, Adolfo Alonso, Miguel García y Eduardo Loma-Ossorio**, que han prestado una ayuda inestimable y desinteresada de su tiempo para resolver y ayudar en cuestiones, aclaraciones, investigaciones y soporte en la toma de datos, sin cuya colaboración hubiera sido imposible realizar.

A **Rafael Marín**, por el apoyo, insistencia y la ayuda en la elaboración del material gráfico y corrección del texto.

A **Vicente López** por el ánimo, insistencia y ayuda prestada en la modificación y corrección del texto.

A **Adolfo Vigil** por sus traducciones de texto.

A **Pep Pardo** y a **Luis Cortés** por su incansable ofrecimiento apoyo y dedicación.

A **Cristina Ordaz** por las correcciones.

A la empresa Global Mediterránea S. L., en especial a **Josep Blasco**, por la cesión del material informático realizado.

A los técnicos de laboratorio **Rafael Molina y Ricardo Pérez**, por la ayuda prestada en los ensayos realizados.

A **Liliana Palaia**, por la chispa que encendió en mi...

A los compañeros de profesión vinculados con las termas de Mura. A **Elisa Moliner** por su material prestado, a **Marisol Martí** por su complicidad, a **Vicent Escrivà** por sus explicaciones y razonamientos y al resto del equipo que tanto tiempo han dedecado ...

A los compañeros de la escuela, alumnos y profesores que en su justa medida también me han apoyado y ayudado en esta investigación, en especial a **María Soriano**, **José Vercher** y **Gracia López** por su ánimo para poder llegar a esta convocatoria y a **Pablo Bertolo** por sus conocimientos de representación virtual y a **Luis Gimeno** por su ayuda en la investigación preliminar y clasificación de la bibliografía.

Al servicio del préstamo interbibliotecario por la ayuda prestada en la recogida de tantos documentos de difícil préstamo.

Al personal de la Escuela de Doctorado, ETSA, Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV y el Servicio de Microscopia de la UPV.

Y a otros tantos que, aunque no se encuentren citados, también les envío mi más sincero agradecimiento.

Y por último a mi familia, padres, hermana y sobrino, agradecerles el que me disculpen todo el tiempo dedicado a esta investigación y las ausencias que me han impedido estar disfrutándolo con ellos.