

imperiales [56]. Esto no se refiere solo a la piedra, sino a todos los materiales, incluso al mortero.

El mortero es uno de los materiales de construcción más complejos en las construcciones históricas, el cual fue creado a lo largo de milenios utilizando áridos y conglomerantes, es decir, arena y rocas, tierra, yeso, cal y cemento, añadiendo diferentes aditivos y mezclas de origen inorgánico u orgánico, naturaleza para mejorar sus propiedades [57]. Entre ellos se encuentran los materiales naturales o artificiales con características puzolánicas que hoy llamamos puzolanas. La puzolana es un material silíceo y/o aluminoso que recibe su nombre de las cenizas del distrito volcánico Campi Flegrei que rodea el golfo de Pozzuoli (antiguo Puteoli), cerca de la actual Nápoles, que reacciona con la cal o compuestos a base de cal en presencia de humedad, a temperaturas ordinarias, produciendo compuestos con características cementosas [58] (como se cita en [59]). El nombre latino del material auténtico, también llamado puzolana, es *puteolanus pulvis* ("polvo de Puteoli") [59].

El mortero de cal romano ha sido un tema de debate en las comunidades arqueológica, geológica y de ciencias de los materiales durante mucho tiempo. Aunque antes de los romanos en el mundo mediterráneo se utilizaban materiales puzolánicos naturales (principalmente de origen volcánico) y artificiales (principalmente cerámica triturada, terracota), se utilizaba para impermeabilizar morteros, es decir, enlucidos y revoques [60 , 61]. Sólo el desarrollo de morteros hidráulicos, fuertes y resistentes al agua, con capacidad de fraguar y endurecer bajo el agua [59 , 60], con el uso abundante de materiales puzolánicos naturales de origen volcánico, permitió aprovechar plenamente su potencial con fines estructurales. lo que resultó en la formación del llamado hormigón romano [59], compuesto de *caementa* (fragmentos de ladrillos, piedras y tobas volcánicas como agregado) unidos por *materia* (mortero de ceniza volcánica) [59 , 62], y la construcción de las construcciones monumentales romanas más conocidas. La ceniza volcánica es producto de una erupción piroclástica y está compuesta de vidrio y cristales procedentes de roca fundida y partículas de lava rota [59]. La toba es la roca creada a partir de cenizas y lapilli, mediante litificación y consolidación, desarrollo de cementos minerales o, a veces, mediante soldadura de vidrio volcánico [59]. El mortero puzolánico con material volcánico fue, por tanto, un componente clave para la durabilidad de las construcciones romanas [62].

Los ingredientes de los morteros de cal romanos debían obtenerse aprovechando materias primas naturales que no siempre estaban disponibles o en cantidad y calidad suficientes. Aunque su elección estuvo estrechamente relacionada con la función del mortero, también estuvo guiada principalmente por la economía. Así, el entorno geológico local, la disponibilidad de la fuente de energía para producir cal, así como la relación espacial de la fuente de materias primas con el lugar de construcción, fueron los factores más importantes en las actividades de producción de morteros [63] . Muchos ejemplos de morteros encontrados en las estructuras del antiguo Imperio Romano se produjeron utilizando materiales locales que no siempre eran de la mejor calidad, pero que eran "la mejor opción desde el punto de vista económico" [64] (p. 145). Al mismo tiempo, tenemos ejemplos del uso mixto intencional de materias primas importadas y locales, pero incluso en esos casos, siempre estuvo económicamente justificado en la medida de lo posible. Ya se sabía que los romanos transportaban los materiales puzolánicos volcánicos naturales, la puzolana, para los morteros desde los Campi Flegrei a lo largo de la costa italiana, y también se suponía que era el caso de la amplia zona del Mediterráneo [59]. Recientemente, durante la investigación sobre los morteros utilizados en el puerto de Sebastos en Cesarea Marítima, Israel, se detectaron materiales puzolánicos volcánicos importados de Campi Flegrei, pero su uso fue "exacto", limitado a las estructuras tipo concreto y muros de mampostería en el zona intermareal, lo que confirmó la optimización romana en el suministro de materias primas [65] (p. 19).

La investigación de este artículo se relaciona con un aspecto de la actividad constructiva en el paisaje de Viminacium, es decir, la explotación y utilización de materia prima local para fines constructivos, con las suposiciones realizadas sobre su posible uso en morteros como material natural con características puzolánicas. . A

La investigación del ladrillo natural durante el proyecto MoDeCo2000 se inició a partir de las suposiciones formuladas tras una larga investigación arqueológica del Viminacium romano. Dado que los investigadores anteriores de Viminacium encontraron este material durante las excavaciones como materiales fragmentados en núcleos de muros y cimientos de carreteras, su papel no se consideró importante para sacar conclusiones sobre la construcción en esta ciudad y fortaleza legionaria. Sin embargo, a través del análisis de los restos excavados de estructuras de mampostería de Viminacium, entre los que se encontraban los restos de la puerta norte de la fortaleza legionaria investigada parcialmente en 2022-2003 [16] con los escombros de ladrillo natural en el nivel de los cimientos, y su comparación con notas de investigación de principios del siglo XX en las que los períodos de vida del Viminacium estaban relacionados con el uso y combinación de diferentes materiales de construcción (acacia, ladrillo cocido con esquisto y escombros) [78 , 79], el uso de materiales naturales. El ladrillo se relacionó con la primera fase de construcción de Viminacium, que data del siglo I d.C. [53]. Tras el inicio de excavaciones arqueológicas sistemáticas a gran escala de la fortaleza legionaria de Viminacium en 2016, se fecha con mayor precisión en las últimas décadas del siglo I d.C. [43], lo que fue el resultado de la primera construcción romana extensa actividades en la zona; Se demostró la suposición de que en esta fase se utilizó predominantemente ladrillo natural como material de construcción básico.

Durante la época romana, la provincia de Moesia Superior era una zona minera con ricos recursos minerales: oro, plata, plomo, hierro y cobre [80]. Sin embargo, el estrecho territorio de Viminacium, como parte de la cuenca de lignito de Kostolac, era rico en carbón [46 , 81]. Su explotación no fue mencionada en las fuentes hasta el siglo XIX, y la minería subterránea comenzó oficialmente en 1873 [19 , 20 , 46 , 67]. Así, no se sabe si los romanos de Viminacium explotaron el carbón como combustible, pero es posible que conocieran su presencia, ya que sus capas estaban cercanas a la superficie [18 , 67]. Un cronista de la minería subterránea de Kostolac escribe que las capas de carbón se revelaron desde la superficie y permitieron así trabajos simultáneos de explotación y exploración del carbón [18]. En 1875 el carbón se quemó espontáneamente y en 1890 se observó que no se puede descartar que el carbón fuera conocido aquí desde hacía mucho tiempo, aunque los primeros registros datan de después de 1870 [18].

La madera en bruto y la madera en bruto convertida en carbón vegetal eran los combustibles más utilizados por los pueblos antiguos, mientras que los combustibles no madereros y el carbón se utilizaban en mucha menor medida [82]. La mayoría de los hallazgos de carbón en la Bretaña romana están relacionados con la metalurgia [83] (como se cita en [84]). Según los hallazgos de carbón en el hipocausto de los baños [83] (como se cita en [84]) y su distancia a las vetas de carbón, los investigadores concluyeron que el carbón se transportaba dentro de la costa [85] (como se cita en [84]). A partir del siglo I d.C. se utilizó con fines domésticos y metalúrgicos; su uso maximizado data del período comprendido entre los siglos II y IV, y se mantuvo en uso generalizado en el siglo V, después del cual no se utilizó durante siglos [86 , 87 , 88]. Junto con el uso predominante y la presencia de madera, parece que no era económicamente viable transportar ampliamente el carbón, o tal vez los recursos de carbón disponibles no eran lo suficientemente ricos para una explotación a largo plazo [84]. La investigación en Gran Bretaña también demostró que los romanos no extraían el carbón de las profundidades, sino que lo explotaban de los depósitos en la superficie [82], es decir, de las vetas expuestas, utilizando herramientas simples [83] (como se cita en [84]). Por lo tanto, dado que el carbón en el área de Viminacium estaba disponible localmente, y probablemente accesible desde la superficie, es muy posible que los romanos lo explotaran y lo usaran como combustible, pero es menos posible que lo extrajeran extensivamente desde las profundidades, ya que la madera fue abundante en la zona hasta el siglo XIX y el desarrollo de la industria minera [18]. En la composición de muchos ejemplos de morteros históricos, se ven restos de carbón. Los investigadores aún no han llegado a un acuerdo preciso sobre el motivo de su presencia. Dado que su cantidad es generalmente muy pequeña como para ser considerados áridos, ayudar al mortero a "respirar" o contribuir al color, probablemente se trataba de restos del

2. Fondo

2.1. *Uso histórico del ladrillo natural*

La investigación del ladrillo natural durante el proyecto MoDeCo2000 se inició a partir de las suposiciones formuladas tras una larga investigación arqueológica del Viminacium romano. Dado que los investigadores anteriores de Viminacium encontraron este material durante las excavaciones como materiales fragmentados en núcleos de muros y cimientos de carreteras, su papel no se consideró importante para sacar conclusiones sobre la construcción en esta ciudad y fortaleza legionaria. Sin embargo, a través del análisis de los restos excavados de estructuras de mampostería de Viminacium, entre los que se encontraban los restos de la puerta norte de la fortaleza legionaria investigada parcialmente en 2022-2003 [16] con los escombros de ladrillo natural en el nivel de los cimientos, y su comparación con notas de investigación de principios del siglo XX en las que los períodos de vida del Viminacium estaban relacionados con el uso y combinación de diferentes materiales de construcción (acacia, ladrillo cocido con esquisto y escombros) [78 , 79], el uso de materiales naturales El ladrillo se relacionó con la primera fase de construcción de Viminacium, que data del siglo I d.C. [53]. Tras el inicio de excavaciones arqueológicas sistemáticas a gran escala de la fortaleza legionaria de Viminacium en 2016, se fecha con mayor precisión en las últimas décadas del siglo I d.C. [43], lo que fue el resultado de la primera **construcción romana** extensa actividades en la zona; Se demostró la suposición de que en esta fase se utilizó predominantemente ladrillo natural como material de construcción básico.

Durante la época romana, la provincia de Moesia Superior era una zona minera con ricos recursos minerales: oro, plata, plomo, hierro y cobre [80]. Sin embargo, el estrecho territorio de Viminacium, como parte de la cuenca de lignito de Kostolac, era rico en carbón [46 , 81]. Su explotación no fue mencionada en las fuentes hasta el siglo XIX, y la minería subterránea comenzó oficialmente en 1873 [19 , 20 , 46 , 67]. Así, no se sabe si los romanos de Viminacium explotaron el carbón como combustible, pero es posible que conocieran su presencia, ya que sus capas estaban cercanas a la superficie [18 , 67]. Un cronista de la minería subterránea de Kostolac escribe que las capas de carbón se revelaron desde la superficie y permitieron así trabajos simultáneos de explotación y exploración del carbón [18]. En 1875 el carbón se quemó espontáneamente y en 1890 se observó que no se puede descartar que el carbón fuera conocido aquí desde hacía mucho tiempo, aunque los primeros registros datan de después de 1870 [18].

La madera en bruto y la madera en bruto convertida en carbón vegetal eran los combustibles más utilizados por los pueblos antiguos, mientras que los combustibles no madereros y el carbón se utilizaban en mucha menor medida [82]. La mayoría de los hallazgos de carbón en la Bretaña romana están relacionados con la metalurgia [83] (como se cita en [84]). Según los hallazgos de carbón en el hipocausto de los baños [83] (como se cita en [84]) y su distancia a las vetas de carbón, los investigadores concluyeron que el carbón se transportaba dentro de la costa [85] (como se cita en [84]). A partir del siglo I d.C. se utilizó con fines domésticos y metalúrgicos; su uso maximizado data del período comprendido entre los siglos II y IV, y se mantuvo en uso generalizado en el siglo V, después del cual no se utilizó durante siglos [86 , 87 , 88]. Junto con el uso predominante y la presencia de madera, parece que no era económicamente viable transportar ampliamente el carbón, o tal vez los recursos de carbón disponibles no eran lo suficientemente ricos para una explotación a largo plazo [84]. La investigación en Gran Bretaña también demostró que los romanos no extraían el carbón de las profundidades, sino que lo explotaban de los depósitos en la superficie [82], es decir, de las vetas expuestas, utilizando herramientas simples [83] (como se cita en [84]). Por lo tanto, dado que el carbón en el área de Viminacium estaba disponible localmente, y probablemente accesible desde la superficie, es muy posible que los romanos lo explotaran y lo usaran como combustible, pero es menos posible que lo extrajeran extensivamente desde las profundidades, ya que la madera fue abundante en la zona hasta el siglo XIX y el desarrollo de la industria minera [18]. En la composición de