

OCULTOS A PLENA VISTA : MORTEROS DE CAL MEZCLADOS EN CALIENTE

HIDING IN PLAIN SIGHT : HOT MIXED LIME MORTARS

Nigel Copsey

Maestro de obra y restaurador. The Earth Stone & Lime Company
Stonemason and building conservator



1b

Palabras clave: Cal viva, mezclado en caliente, apagado, morteros de tierra

Desde hace dos años, ha resurgido un interés por el uso de los morteros de cal viva mezclados en caliente en el Reino Unido y en Irlanda, aunque muchos de los involucrados vienen usando los morteros mezclados en caliente desde hace diez años o más. El resurgimiento de los morteros mezclados en caliente es el resultado del esfuerzo colectivo de albañiles irlandeses, escoceses e ingleses y de profesionales del mundo de la restauración y ha revitalizado el movimiento de la cal por las Islas Británicas. El objetivo de este artículo es describir este resurgimiento y resumir los beneficios esenciales de los morteros mezclados en caliente para uso en reparación y conservación compatible con edificios históricos por el mundo.

*Texto original: inglés. Traducción al castellano: L. Garijo & F. Vegas



Keywords: Quicklime, hot-mixed, slaking, earthen mortars

There has been a revival of interest in and routine use of hot mixed air lime mortars in the UK and Ireland over the last two years, though many involved have been using hot mixed mortars for ten years or more. The 'Hot Mixed Mortars Revival' has been the collective effort of Irish, Scots and English masons and conservation professionals and has re-energized the lime movement across the British Isles. This paper seeks to provide a narrative for this, as well as to summarise the essential benefits of hot mixed lime mortars for use in the compatible repair and conservation of old and historic buildings across the world.

*Original text: English. Spanish translation: L. Garijo & F. Vegas

Por lo que nosotros y otros han observado (Forster 2004, Lynch 2007, Holmes 1993, Revie 2015), la gran mayoría de los morteros de cal –y muchos de los morteros de tierra– encontrados en edificios antiguos de construcciones tradicionales fueron ‘mezclados en caliente’. La cal viva se apaga en íntima asociación con el árido (arena, polvo de piedra o subsuelos, inicialmente apagada casi en seco, con poca agua y en el caso de los morteros de cal viva con árido o polvo de piedra, y se añade posteriormente agua suficiente como para producir un mortero trabajable para uso inmediato o uso posterior. El indicador inmediato de este

In our own and others’ observation (Forster 2004, Lynch 2007, Holmes 1993, Revie 2015), the vast majority of lime mortars –and very many earth mortars– encountered in old buildings of traditional construction were ‘hot-mixed’, quicklime being slaked in intimate association with aggregate, whether sand, stone-dust or subsoils, an initial ‘dry-slake’ –in the case of quicklime– sand or stonedust mortars– being followed by the addition of water sufficient to produce a workable mortar for immediate or somewhat later use. The immediate indicator for this is the presence within the mortar of small, angular inclusions of lime which frequently contain cores of relic rock material, as well as an ‘increased abundance throughout the mortar of overburnt, underburnt

proceso es la presencia dentro del mortero de unos caliches o inclusiones de cal pequeñas y angulosas que frecuentemente contienen restos de roca y de ‘una abundancia en todo el mortero de partículas sobrecocidas, infracocidas o sin hidratar’ (Frew, McAfee, McIlveen, Revie et al 2015). Incluso cuando la cal viva se ha llevado a forma de pasta y se ha tamizado para eliminar gran parte de esas inclusiones, en la mayoría de los casos la cal apagada se ha mezclado con el árido estando aún muy caliente. Casi todos los documentos escritos sobre los métodos tradicionales de apagado de la cal coinciden en que los métodos

and unhydrated particles’ (Frew, McAfee, McIlveen, Revie et al 2015). Even when quicklime was run to putty and sieved to remove the majority of such inclusions, however, the slaked lime was mixed with sand whilst still very hot in most craft practice. Almost all written documents of traditional lime slaking methods agree that the ‘ordinary’ method –considered universal, except for very specialist use– was to lay down a ring of the sand necessary for the mortar required and to place the necessary gauge of quicklime within this, before adding all at once, or by sprinkling, water sufficient to effect the slake to either a dry powder or a stiff paste of dough-like consistency. This was generally covered with sand to retain heat and steam before being mixed together and

- 1a. West Rutland, Vermont, USA; caliches indicadores de uso de cal mezclada en caliente
- 1a. West Rutland, Vermont, USA; lime lumps indicators of hot-mixing
- 1b. Revestimiento de cal en caliente, Asturias, España
- 1b. Hot mixed harling coat, Asturias, Spain
- 2. York House, Malton
- 2. York House, Malton
- 3. Mortero mezclado en caliente de tierra con vetas de cal (Gourley)
- 3. Hot-mixed earth mortar with lime streaking (Gourley)



1a



2

3



‘ordinarios’, considerados universales, consisten en formar un anillo de arena con la cantidad necesaria para el mortero y en colocar la cantidad estimada de cal viva dentro del mismo, antes de añadir toda de una vez, o por aspersión, la cantidad de agua necesaria para efectuar el apagado hasta la consistencia de un polvo seco o una pasta. Esto se cubría generalmente con arena para mantener el calor y el vapor antes de mezclarse todos juntos, y dejarlos bien como mezcla en bruto seca apagada o bien una mezcla de mortero para uso inmediato. Es sólo con estos autores que podemos entender la rutina real de la obra, que consistía generalmente en mezclar la arena con la cal viva sin apagar o en curso de apagarse y todavía muy caliente para formar un mortero para uso inmediato, salvo en el caso de enlucidos. Incluso en circunstancias muy controladas, como la construc-

ción de Fort Adams, Newport Harbour, Rhode Island, supervisados por el General Totten, se reconoce que la presión por el gran volumen de producción de mortero significaba que el mortero mezclado en molino era efectivamente ‘mezclado en caliente’ (Totten 1838). Tan pronto como en 1780, Higgins había afirmado, después de numerosos ensayos prácticos, que los morteros debían mezclarse y usarse inmediatamente. Esto fue confirmado por Treussart (traducción al inglés de 1842), Pasley (1826 & 1838), Totten (1842), Gillmore (1864 & 1881) y otros ingenieros militares durante el siglo XIX. La cal en forma de pasta siempre se usó aunque en menor proporción de lo que hemos supuesto hasta tiempos recientes y no como se fabrica la cal en pasta hoy en día. Hasta finales del siglo XIX, la cal en pasta o la cal aérea se reservaba para enlucidos y estucos. Por otro lado,

una variedad de métodos de ‘mezclado en caliente’ se usaban para crear una argamasa que se dejaba reposar durante unos meses para minimizar el riesgo de caída del enlucido de las paredes. La cal en pasta llegó a dominar los enlucidos durante el siglo XX. El uso de la cal hidráulica fue mucho más común durante la segunda mitad del siglo XIX, pero generalmente, como en tiempos anteriores, asociada a trabajos de ingeniería civil y estructural, bajo suelo y bajo agua. En algunos centros urbanos, el uso de los morteros de cal hidráulica en vez de la cal aérea tradicional se convirtió en una cuestión de “status”, al igual que el uso de cemento Portland durante el siglo XX. Ese proceso está muy bien documentado en el caso de Gijón, Asturias, en el que toda la cal se importaba y debido a cuyo comercio muchos documentos sobreviven, complementados por estudios de

was then left as either a dry-slaked coarse stuff or mixed to a mortar for immediate use. It is only in the asides of these authors that we catch glimpses of actual site practice, which was generally to mix together the sand and unslaked or still-slaking, or slaked and still very hot quicklime to form a mortar for immediate use, unless it was for plastering. Even in highly controlled circumstances, such as the construction of Fort Adams, Newport Harbour, Rhode Island, supervised by General Totten, it is acknowledged that the pressure of high volume mortar production meant that mortar mixed in a mill was effectively ‘hot-mixed’ (Totten 1838). As early as 1780, Higgins had asserted, after extensive practical testing, that mortars should be mixed and used immediately. This was confirmed by Treussart (English translation 1842), Pasley (1826 & 1838), Totten

(1842), Gillmore (1864 & 1881) and other military engineers during the 19th C. Some putty lime use always occurred, but very much less than has been understood by the ‘lime revival’ and not made as putty limes are today. Until the end of the 19th C, putty or air-slaked lime was generally reserved for fine plaster finishes and fine stucco-work. Otherwise, a variety of ‘hot mix’ methods were used to create a coarse stuff which would be laid down for some months to minimize the risk of late slaking upon the plastered wall itself. Putty lime came to dominate plastering during the 20th Century. The use of Hydraulic Limes became much more common during the second half of the 19th C, but generally, as in earlier times, in association with civil and structural engineering works, below ground and underwater. In some urban centres, the use of hydraulic lime mortar

over traditional air lime mortar became a matter of ‘status’ in much the same way as did the use of portland cement mortars during the 20th C. This process is very well documented in the case of Gijon, Asturias, into which all lime was imported and for which trade numerous documents survive, supplemented by building surveys (García Lopez del Vallado 2009). In most places, the use of hot mixed air lime mortars continued until at least WWII, despite the prejudice against the method of most ‘scientific’ authors in France and the UK, most of them writing during the fourth quarter of the 19th C. This prejudice perhaps reflected the increasing imposition of hierarchical organization upon the construction industry, with architects, engineers and other middle class professionals seeking to wrest power from the craftsmen who had previously enjoyed

edificios (García López del Vallado 2009). En la mayoría de los lugares, el uso de los morteros de cal mezclados en caliente continuaron hasta casi la Segunda Guerra Mundial, a pesar del prejuicio en contra del método de la mayoría de autores “científicos” de Francia y Reino Unido, la mayoría de los cuales del último cuarto de siglo XIX. Este prejuicio quizás ha reflejado la imposición creciente de una organización hierática de la industria de la construcción, con arquitectos, ingenieros y otros profesionales de clase media que buscan arrebatar el poder a los artesanos, que habían disfrutado anteriormente en mayor medida del control del proceso, incluyendo la elección y el óptimo empleo de materiales. Todos estos autores dejan claro que la mezcla en caliente era la norma, pero con el empleo en términos peyorativos para describir la práctica artesana, casi sin excepción. Al mismo

much more control over the process, including the choice, and optimum deployment, of materials. All of these authors make clear that hot mixing was then the norm, but deploy pejorative terms to describe craft practice, almost without exception. At the same time, most of these authors were generally dismissive of the use of rich air lime mortars for all but interior use, though the evidence of our built fabric is that hot mixed air lime mortars –or earth and quicklime mortars– were almost universally deployed at this time and have performed very well. Feebly hydraulic lime mortars were also common, where appropriate limestone existed locally, but the character and performance of these –as well as their very high free (air) lime content– was much more akin to that of a pure air lime than it was to an eminently or currently available NHL.

tiempo, la mayoría de estos autores desdibujaban en general en el uso de morteros ricos en cal aérea excepto en interiores, a pesar de la evidencia de que nuestras fábricas construidas son de mortero de cal mezclado en caliente –o de tierra y cal viva– y que fueron casi universalmente empleados antaño con magníficos resultados. Los morteros de cal débilmente hidráulica han sido también comunes, allí donde existía una piedra caliza apropiada, pero el carácter y la prestación de los mismos, además de su muy alto contenido de cal aérea libre, era mucho más similar a la cal aérea que la cal hidráulica natural (NHL – Natural Hydraulic Lime) predominante o disponible en la actualidad. Nuestra experiencia con los tres métodos tradicionales, a saber, el método ordinario, el método de apagado por inmersión y el método por apagado aéreo, indica que ninguno de estos procedimientos ge-

Testing by ourselves of the traditionally described ‘three methods’ indicates that none of these methods produced a mortar of more integrity or workability than the mixing together, during slaking, of the quicklime and the sand or other aggregate, which, like the historically related ‘ordinary’ method, as well as the method of slaking by ‘immersion’, if not that of air-slaking, maximizes the heat of the slake. Slaking by the ‘ordinary’ method or by immersion followed by the immediate engagement of the still very hot slaked lime makes a mortar of good workability and consistency, whereas delaying the mixing until the slaked lime cools does not, in our experience. The current methods of making putty lime, by throwing quicklime into an excess of water, minimizes the temperature of the slake and was universally counseled against except

4. Prospect House, Slingsby. Rejuntado con mortero en caliente, 2008. La geología de la piedra es la misma que la de los edificios rejuntados con mortero de cemento a ambos lados, pero la fábrica está tan seca que no se podría afirmar a simple vista

4. Prospect House, Slingsby. Pointed with hot-mix 2008. Stone geology the same as opc-pointed buildings to either side, but fabric now so dried out that this would not be assumed at first glance

5. Iglesia de St. Michael, Crambe. Sillería de la nave, a la izquierda, rejuntada con NHL 2.0 seis meses antes de que el presbiterio –a la izquierda– fuera rejuntado por nosotros con mortero de cal en caliente rico en cal. Es razonable afirmar que la fábrica del presbiterio está más seca que la de la nave

5. St Michaels Church Crambe. Stonework of Nave, to left, pointed with NHL 2.0 six months before Chancel – at right- was repointed by ourselves with lime-rich hot-mix mortar. It is reasonable to say that the Chancel fabric is now drier than the Nave

6. Pond Farmhouse, Crambe, rejuntado de mortero de tierra y cal con cerdas mezclado en caliente. Casa de “postes cercha” de alrededor de 1580

6. Pond Farmhouse, Crambe, earth mortar, hot-mixed, haired lime pointed. A Cruck house from circa 1580



4



5



6

7. Copsey, Gourley & Allen R: Porcentaje de CaCO₃ en morteros de tierra, York House, Malton. Se considera que se añadía menos cal viva en los morteros de tierra, alrededor de un 10-20%. Los datos reflejan subsuelos locales calcáreos

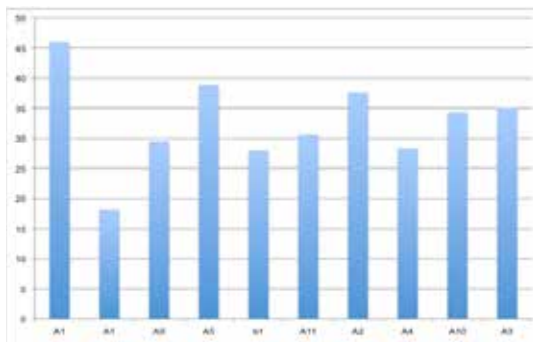
7. Copsey, Gourley & Allen R : % CaCo3 content in earth mortars, York House, Malton. It is considered that quicklime was added less liberally to earth mortars, at between 10-20%. The data reflect calcareous subsoils locally

8. Muestra de enlucido de tierra y cal pulido de la York House, Malton, en la que se aprecia el contenido de cal viva y piedra caliza oolítica y un acabado sólo de cal y cerdas, con presencia de áridos naturales en la piedra caliza calcinada (Gourley)

8. Polished earth and lime plaster sample, York House, Malton, showing both quicklime and oolitic limestone content lime finish coat of lime and hair only, with naturally present aggregate within the burned limestone (Gourley)

9. Conjunto encalado, York House, Malton. Mezclado e incluso aplicado en caliente

9. Aggregated limewash/sheltercoat, York House, Malton. Hot-mixed and applied whilst still warm



7



8



9

nera un mortero con mayor integridad y trabajabilidad que el mezclado durante el apagado de la cal viva con la arena u otro árido que maximiza el calor del apagado. El método actual de preparación de cal en pasta introduciendo la cal viva en un exceso de agua, minimiza la temperatura del apagado y fue universalmente desaconsejado excepto para la producción de revestimientos finos (por la ausencia de grumos), por generar morteros débiles. Durante el siglo XX este método fue el más común, pero los morteros en este periodo se mezclaron normalmente con yeso y cemento Portland. El uso extendido de cales hidráulicas o de cales en pasta por inmersión de la cal viva en agua tiene pocos precedentes y poca historia a sus espaldas. Las prácticas modernas de restauración y reparación parecen ignorar esto. Por el contrario, la cal hidráulica viva se pulverizaba rutinariamente antes del apagado y se mezclaba generalmente

for the production of fine plaster finish coats (because of the absence of lumps) as producing a weak or weakened mortar. During the 20th C this method became more common, but lime mortars were by this time routinely gauged with either gypsum or Portland cement. The widespread use of eminently hydraulic limes or putty limes made by ‘drowning’ the quicklime in water, has little and only quite recent historic precedent, therefore. Modern conservation and repair practice does not reflect this.

Whilst laboratory analysis might be challenged to distinguish between a mortar produced by the ‘ordinary’ method, or by the mixing of ingredients during the slake; and whilst the method advertised herein may be made more possible and perhaps effective by the use of modern,

con el árido in situ antes de que el apagado tuviera lugar en el caso de querer hacer hormigón. De hecho, tan pronto como en 1826, Pasley relata una tendencia entonces común de pulverizar cales comunes o aéreas también antes del apagado. Actualmente, la distinción a posteriori entre mortero producido por el “método ordinario” o por el mezclado de componentes durante el apagado en un análisis de laboratorio puede convertirse en un reto. Este método de mezclado en caliente puede ser más factible y quizás más efectivo con el uso de cal viva en polvo moderna cocida a elevadas temperaturas.

Tras 10.000 años de uso de la cal, parece improbable, cuanto menos, que un número de artesanos en el Reino Unido e Irlanda hayan “descubierto” un nuevo método de preparación de morteros de cal viva, previamente no practicados por sus compañeros en lugares de todo el

high-temperature-fired and powdered quicklimes, hydraulic quicklimes were routinely pulverized before slaking and for concretes they were generally mixed with the aggregates before slaking took place, these being slaked together in situ. As early as 1826, Pasley relates a trend then common to pulverize common or air limes also before slaking.

After some 10,000 years of lime use, it would seem unlikely, to say the least, that a variety of craftsmen across the UK and Ireland have ‘discovered’ a new method of making quicklime mortars, previously unpracticed by their peers on sites across the world, especially since this method delivers a mortar of such great benefit and advantage in production and use. It would be our conviction, therefore, that craft practice operated independent-

mundo, especialmente desde el momento en que este método proporciona un mortero con tantas ventajas de producción y uso. Somos de la opinión por tanto, que la práctica de los artesanos operó de manera independiente de la opinión “experta” y de la proscripción a lo largo de todo el periodo histórico y que los métodos de “mezclado en caliente” siempre han existido, con variantes a tenor de la forma y carácter de la cal viva disponible y de la intención de uso previsto de los morteros fabricados.

Los morteros de tierra estabilizados con cal, con una adición típica de cal entre 5 y 10% –normalmente en forma de cal viva, lo que incrementa su volumen después del apagado hasta un 100% en el caso de la cal aérea– o los morteros de tierra ricos en cal, donde efectivamente el subsuelo se comporta como árido, fueron inevitablemente mezclados en húmedo y el calor generado por el apagado

ly of ‘expert’ opinion and proscription throughout the historic period and that methods of ‘hot mixing’ have always existed, its variations dependent upon the form and character of the available quicklime and the intended use of the mortars made. Lime stabilised earth mortars, with typically between 5 and 10% lime addition –usually in the form of quicklime, which increases in volume upon slaking by up to 100% when an air lime– or more lime rich earth mortars, where the subsoil effectively behaved as aggregate, were inevitably ‘wet-mixed’ and the heat generated by slaking would have been less intense and more localised. Even small quicklime addition palpably changes the character of an earth mortar, giving it greater plasticity as well as more elasticity and integrity. The use of earth mortars

sería menos intenso y más localizado. Incluso una pequeña adición de cal viva cambia palpablemente el carácter de un mortero de tierra, dando más plasticidad así como más elasticidad e integridad. El uso de los morteros de tierra –con o sin adición de cal viva– para la construcción y como enfoscado base para los enlucidos de acabado, fue probablemente casi universal en las Islas Británicas hasta el siglo XVIII como mínimo, y bien entrado el siglo XIX en Irlanda, aunque siempre asociado de alguna manera con la cal –para retacar el mortero de asiento de tierra o para enlucidos de acabado sobre enfoscados de tierra. La construcción con tierra también tuvo lugar en conjunción con la cal –tanto mezclada con algunos de los materiales de la arquitectura de tierra o como revocos y encalados de acabado interior o exterior. En los edificios donde era común el empleo de la tierra en muros, arcos y bóvedas, también

–with and without quicklime addition– for building and for base coat plasters was probably almost universal in the British Isles at least until the 18th Century, and well into the 19th C in Ireland, although always in some association with lime –for final pointing over earth bedding mortars and for finish coats over earth plasters. Building with earth also occurred in conjunction with lime –either within some of the earthen materials or as finish plaster or exterior render and limewash finishes. Where earth was common for walling, arches and vaults within the same structure would be laid in hot mixed lime mortar, typically with limestone aggregate. The use of lime and earth to their best advantage, in separate or intimately associated combinations was part of the same masonry or timber framing craft practice.

10. Andrews, Bywell detalle. Mortero con proporción 6 de cal viva y 20 de arena antes de la mezcla; 13:20 tras la mezcla en caliente

10. St Andrews, Bywell detail. Mortar 6 quicklime: 20 sand before mixing; 13: 20, after hot mixing

11. El mismo edificio después de tres años. No se aprecia desgaste del mortero; se observan restos de algas secas aún presentes en los niveles inferiores rejuntables con mortero de cemento debido al secado de la fábrica de la parte superior de la torre

11. The same, three years on. No attrition of the mortar; die-back of algae still present to ope pointed lower levels due to the drying of the fabric of the upper tower



10



11

12. Mortero de cal aérea mezclada en caliente reemplazando NHL 5 en hastial húmedo, Moffat. Antes y tres semanas después del rejuntado

12. Hot mixed air lime mortar replacement of NHL 5 in damp gable, Moffat. Before and 3 weeks after repointing

se usaba el mortero de cal amasado en caliente, típicamente con árido calizo. El uso de la cal y de la tierra con sus mayores ventajas, por separado o en íntima asociación, era parte de la misma construcción en mampostería. Nunca se consideraron por separado. Este patrón es tan común en regiones de geología caliza como en regiones donde la caliza es mucho más escasa, tanto en casas distinguidas como humildes. El uso de los morteros de tierra no estuvo en función de la pobreza ni de la escasez de caliza, sino que fue considerado como una práctica artesana íntimamente relacionada con la técnica de la cal viva. La universalidad de los morteros de tierra en el Reino Unido ha sido –como la universalidad de los morteros de cal mezclados en caliente– substancialmente ignorada por el mundo de la conservación.

Dependiendo del uso previsto, los mortero-

ros se empleaban tanto en caliente como en frío. Los morteros mezclados en caliente y dejados enfriar eran más elásticos y de alguna manera menos porosos, aunque reteniendo una porosidad cercana a otras formas de mortero de cal.

En los primeros tiempos de la recuperación de la cal en el Reino Unido, se emplearon morteros de cal en pasta mezclados en una proporción menor que sus precedentes históricos, en situaciones donde históricamente los morteros de cal aérea mezclados en caliente habían sido la norma. Estos morteros de cal en pasta que se convirtieron en el mortero común de restauración, normalmente con adiciones puzolánicas cuyo efecto disminuía por su mezclado en frío, no brindaron resultados del todo satisfactorios ni duraderos. Esta mezcla pobre con cal en pasta generalmente con menos de 4 meses de antigüedad y densidad varia-

12



They were never distinct craft traditions. This pattern is as common in regions of limestone geology as it is in regions where limestone was much more scarce; it is as common in high status as it is in lower status buildings. The use of earth mortars was neither a function of poverty nor of scarcity of limestone, therefore, but of informed and considered craft practice which worked hand-in-hand with quicklime technology. The universality of earth mortars in the UK has –like the universality of hot mixed lime mortars– been substantially ignored by the conservation world. Depending upon their intended purpose, mortars would be used either hot or after cooling. Hot mixed mortars left to cool will become more elastic, but also somewhat less porous, whilst retaining eminent porosity compared to other forms of lime mortar either way. In the earlier

days of the ‘Lime Revival’ in the UK, putty lime mortars mixed at a proportion leaner than in any historic precedent and used in situations where historically hot mixed air lime mortars were the norm, and which have often performed too sacrificially for the comfort of most specifiers or even for the buildings themselves, were the common mortar of conservation and repair, often with added pozzolans the effectiveness of which may be lessened when ‘cold-mixed’. Such lean mixing with putty lime generally less than 4 months old and with variable density had been based upon practice initiated at Wells Cathedral and Crowland Abbey in the mid-1970s by Professor Robert Baker. It was widely disseminated by conservators who worked under his direction upon these projects, who themselves established stone conservation companies in the UK. The 1:3

ble estaba basada en la práctica iniciada en la Catedral de Wells y en la Abadía de Crowland en la mitad de los años 70 por el profesor Robert Baker. Esta experiencia fue ampliamente difundida por los restauradores que trabajaban bajo su dirección, que crearon varias empresas de restauración en el Reino Unido. La proporción 1:3 de cal/árido fue sostenida por los ingenieros y las pruebas de laboratorio que la consideraron justa y necesaria para cubrir cada grano de árido con el conglomerante y para garantizar las prestaciones del mortero. Sin embargo, en los morteros tradicionales de cal elaborados por artesanos, el contenido de cal es más que un conglomerante, y ofrece además buena adherencia, porosidad y trabajabilidad. Este “método de la cal” de Robert Baker fue ampliamente adoptado por las instituciones y los técnicos de restauraciones a lo largo del Reino Unido e

Irlanda y se difundió internacionalmente como la panacea. El uso del mezclado en frío de morteros de cal en pasta en una proporción escasa, sin embargo, apenas tenía precedentes históricos en ninguna parte del mundo en la mayoría de las aplicaciones de la construcción. Baker identificó erróneamente los morteros originales como los hechos con mortero de cal en pasta. Un error de análisis explícito en sus notas no publicadas de sus trabajos en la Abadía de Crowland en 1977. El mortero original de construcción y posterior reparación en la Catedral de Wells y en la Abadía de Crowland fueron mezclados en caliente, como resulta evidente de la observación del mortero histórico de ambas iglesias, y fue más rico en cal que la proporción 1:3. Aunque se han realizado y se realizan todavía trabajos de excepcional calidad con mortero de cal en pasta gran calidad, todos me-

lime: aggregate proportion was reinforced by engineers and ‘void-test’ practice that considered it essential only to cover each grain of aggregate with binder for the mortar to perform. In traditional lime mortars, however, as designed by craftsmen, the lime content is more than just a binder, offering enhanced bond, porosity and workability. The ‘Lime Method’ was widely adopted by statutory bodies and advisers upon conservation and repair across the UK and Ireland and became subsequently dispersed internationally as ‘best practice’. The use of cold-mixed, putty lime mortars at an over-lean proportion, however, had minimal historic precedent anywhere in the world for most construction uses. Baker mis-identified the original mortars as having been made with putty lime, an error of analysis made explicit in his unpublished note-

book for the works at Crowland Abbey in 1977. The original mortars of construction and later repair at both Wells Cathedral and Crowland Abbey were hot mixed, as remains evident within the fabric of both churches, and were much richer in lime than 1:3. Although work of exceptional quality was –and still is– performed using putty lime mortars, all but specialist conservators found them relatively cumbersome and problematic; although many such mortars have proved durable and non-damaging, as many again proved too sacrificial for comfort and too prone to failure in less experienced hands. The curing process was frequently too lengthy for many modern contract periods. A ‘lime revival’ based upon putty lime mixed too lean in lime was unlikely ever to see lime use become mainstream once more in the UK – where the health of some 4.5 mil-

13. Encalado mezclado en caliente del portal Early English de caliza Hildenley, Bossall, cerca de York
 13. Hot-lime sheltercoat to Hildenley limestone Early English Doorway, Bossall, near York

14a. Silo en la granja California de Thornton Dale. Morteros de cal mezclada en caliente sobre morteros de tierra y cal. Contratista Sam Baxter según proyecto de los autores en 2013. El 80% de la financiación provino de Natural England bajo HLS
 14a. Threshing Barn, California Farm, Thornton Dale. Hot-mixed lime mortars over earth and lime bedding mortars. Contractor, Sam Baxter to Management Plan prepared by authors 2013; 80% funded by Natural England under HLS

14b. Silo y otros edificios de la granja Swallowhead en Flyingdales. Mortero de cal mezclada en caliente sobre morteros de tierra. Contratista Stephen Straw según proyecto e indicaciones de los autores
 14b. Threshing Barn and other buildings, Swallowhead Farm, Flyingdales. Hot-mixed lime mortars over earth bedding mortars. Contractor, Stephen Straw to Management Plan and specifications by authors



13



14a

14b



nos los restauradores especializados los encuentran relativamente engorrosos y problemáticos; aunque muchos de estos morteros han demostrado ser duraderos e inocuos, otros muchos han ofrecido resultados dudosos en manos con poca experiencia. El proceso de curado y fraguado era con frecuencia demasiado prolongado para muchos de los periodos de contrato modernos. Un resurgimiento de la cal basado en un morteros de cal en pasta pobre en cal era improbable que fuera capaz de recuperar el uso de la cal en el Reino Unido, donde la salud de 4,5 millones de edificios tradicionales y con ella la de muchos de sus ocupantes, reclama el uso de morteros de reparación muy transpirables, esencialmente flexibles y porosos. Con frecuencia creciente se han preferido y promovido activamente los morteros de cal hidráulica natural, bastante más improbables de haber sido

empleados históricamente que cualquier otro, contradiciendo no sólo un precedente histórico y el principio de la reparación con materiales semejantes, sino también arriesgando su incompatibilidad. Incluso la cal hidráulica más resistente empleada en el Reino Unido en el pasado, principalmente para trabajos de ingeniería y, sobre todo, subterráneos, era típicamente menos resistente y más porosa que una moderna NHL 2 actualmente disponible en el mercado. Las cales débilmente hidráulicas empleadas en fábricas de mampostería –particularmente en Londres– eran significativamente menos resistentes y más transpirables al vapor que estas (Dibdin 1911). Las cales hidráulicas se mezclaban en caliente a partir de la cal viva hasta los últimos años del siglo XIX y nunca en una proporción menor que 1:2, expandiendo menos que las cales grasas después del

apagado. Cuanto más hidráulicas son, menor será su expansión. La mayoría de las cales NHL mezcladas en esta proporción serían demasiado resistentes y poco porosas para su empleo en restauración. Conforme las cales NHL se han introducido en la práctica general, la sensatez que dictaba la reparación con materiales semejantes parece que se ha abandonado. Las cales NHL son vistas por muchos arquitectos como un estándar preciso y de confianza, cuando, en realidad, son muy variables en sus prestaciones y sus necesidades son complejas y poco comprendidas tanto por la dirección facultativa como por los artesanos. Para alcanzar sus prestaciones, es esencial una hidratación temprana, y esto es frecuentemente ignorado en las especificaciones y en la obra. Con independencia de su resistencia en megapascales (MPa) de estos morteros de NHL a los 28 días (un NHL 2

lion traditionally constructed buildings, and that of their occupiers, demands the use of highly breathable and essentially 'soft' and porous repair mortars. Increasingly, natural hydraulic lime mortars quite unlike any that may have been used historically, have been preferred, as well as heavily promoted, contradicting not only historic precedent and the principle of like-for-like repair, but risking clear incompatibility. Even the strongest hydraulic lime used in the UK in the past, mainly for engineering works and mainly underground or underwater, was typically less strong and more porous than a modern, currently available NHL 2.0. Feebly hydraulic limes used above ground –particularly in London– were significantly less strong and more vapour open than this (Dibdin 1911). Hydraulic limes were hot mixed from quicklime until the latest

years of the 19th C and never at a leaner proportion than 1 : 2, expanding less than fat limes upon slaking. The more hydraulic they are, the less will be their expansion. Most modern NHLs mixed at this proportion would be far too strong and too little porous for conservation use.

As NHLs have become embedded in general practice, critical thinking to inform like-for-like repair has seemed to become increasingly abandoned. NHLs are seen by many architects as meeting a precise 'standard' and as being 'reliable', when, in fact, they are very variable in their performance and their needs are complex and little understood by either specifiers or craftsmen. Significant early hydration is essential to their proper performance yet this is frequently ignored in specifications as well as on site. Whatever Mpa these NHL mortars may be after 28 days

(an NHL 2.0 can be between 2 and 7 Mpa after this time), it will be around 3 times greater after 2 years, the period of initial set, and strength gain (and porosity loss) will continue indefinitely, albeit at a much lower rate, much as it will for a Portland cement mortar. Assumptions that a generally comparable relationship exists between the strengths of hydraulic lime mortars used in the UK historically and those being used today are readily disproved by analysis, as well as by reference to historic texts and the performance of old buildings upon which they have been used. Hydraulic lime mortars were typically hot-mixed and not pre-slaked to a powder form as today, a process pioneered by Lafarge at the end of the 19th C., in tandem with the appearance of industrially produced dry hydrates of air limes in the USA. The widespread use of

puede haber alcanzado entre 2 y 7 MPa después de este tiempo), a los dos años, puede ser alrededor de tres veces mayor. El periodo de inicio de fraguado y de ganancia de resistencia (y pérdida de porosidad) continuará indefinidamente, aunque a mucha menor velocidad que la que tendría un mortero de cemento Portland. Las suposiciones que generalmente establecen una relación de comparación entre la resistencia de los morteros de cal hidráulica usada en el Reino Unido históricamente y los usados hoy han sido claramente desaprobadas por los análisis, además de por la referencia a textos históricos y por los resultados en los edificios antiguos donde se han usado. Los morteros de cal hidráulica fueron típicamente mezclados en caliente y no pre-apagados y convertidos a polvo como hoy, un proceso del que fue pionero Lafarge al final del siglo XIX, en con-

dry hydrates of eminently hydraulic or air limes or putty limes made by 'drowning' the quicklime has little and only quite recent historic precedent, therefore. Modern conservation and repair practice does not reflect this.

PRACTICAL ADVANTAGES

"...When you slack the Lime, take care to wet it everywhere a little, but do not over-wet it, and cover with sand every laying, or bed of lime...so that the steam or Spirit of the Lime, may be kept in, and not flee away, but mix itself with the Sand, which will make the Morter much stronger than if you slack all your lime first, and throw on your sand altogether at last, as some do...." (Moxon 1703).

Hot-mixed air lime and feebly hydraulic lime mortars enjoy enhanced workability and performance –better bond strength;

sonancia con la apariencia de los hidratos secos de las cales aéreas producidas industrialmente en EE.UU. El uso extendido de los hidratos secos de las cales eminentemente hidráulicas o aéreas, o en pasta fabricadas por inmersión de la cal viva tiene pocos precedentes históricos, que son además recientes. La práctica actual de la restauración no refleja esto.

VENTAJAS PRÁCTICAS

"...Cuando apague la cal, tenga cuidado de humedecerla un poco por todas partes, pero no la moje mucho, y cubra con arena cada tongada o estrato de cal... para que el vapor o el espíritu de la cal, pueda ser mantenido dentro y no huya, sino que se mezcle con la arena, lo que hará que el mortero sea más resistente que si se apaga toda la cal al principio y luego se introduce la arena al final, como algunos hacen..." (Moxon 1703).

appropriate durability for most purposes and optimum porosity— a 1:2 or 2:3 ratio is critical to this performance. Durability may be improved where necessary by the introduction of traditional pozzalans in controlled and consistent volumes. These may be of brick, trass, oyster shell or clay minerals within certain sands. The use of pozzalans where necessary retains the advantages of workability without seriously diminishing the benefit of an open pore structure. In most cases, the addition of pozzalans will not be necessary. Hot mixed, lime-rich mortars are eminently efficient in the drying out of historic fabric in our observation over the last 9 years of regular and routine use, whilst also offering appropriate durability. Hot mixed and applied limewashes are remarkably durable without additions. The initial curing time for hot mixed mortars

15. Reconstrucción de un muro del siglo XVIII en Ryton, Malton, empleando morteros de cal mezclada en caliente realizado por la empresa Earth Stone & Lime.

15. Rebuilding of fallen C18 Fruit wall, Ryton, Malton using hot-lime mortars by the earth stone and lime company.

16. Mortero mezclado en caliente de cal y arena, Dam Head Pumphouse, Bretton Park, Yorkshire Sculpture Park. Arquitecto Britt Harwood; contratista la empresa Earth Stone & Lime. Financiado al 80% por Natural England, 2013.

16. Hot-mixed lime:sand mortar, Dam Head Pumphouse, Bretton Park, Yorkshire Sculpture Park. Architect Britt Harwood; contractor the earth stone and lime company; 80% funded by Natural England, 2013.

17. La facilidad del horneado de cal "primitivo" en esta fotografía de los años 1930 en Malton (Blades).

17. 'Primitive' lime-burning in 1930s Malton (Blades).



15



16



17

18(a-b). Iglesia Holy Trinity, Goodramgate York. Morteros mezclados en caliente para reparaciones, consolidación, rejuntado y enlucidos localizados; encalados mezclados en caliente.

18(a-b). Holy Trinity Church, Goodramgate York. Hot mixed mortars for repairs, consolidation, re-pointing and localised renders; hot mixed shelter coats.



18a



18b

Los morteros de cal aérea y los débilmente hidráulicos mezclados en caliente, con una proporción 1:2 o 2:3, crucial para su buen funcionamiento, presentan una trabajabilidad y prestaciones mejoradas –mayor adherencia, apropiada durabilidad para la mayoría de usos y óptima porosidad–. Cuando sea necesario, la durabilidad puede ser mejorada con la introducción de puzolanas tradicionales en un volumen determinado. Estas pueden ser de ladrillo, concha de ostra o minerales arcillosos contenidos en ciertas arenas. El uso de puzolanas cuando sea necesario presenta las ventajas de la trabajabilidad sin disminuir demasiado los beneficios de una estructura de poro abierto. En la mayoría de los casos, la adición de puzolanas no será necesaria. A nuestro modo de ver, los morteros mezclados en caliente ricos en cal son eminentemente eficientes para desecar las humedades de la fábrica histórica, a juzgar por los resultados de los últimos 9 años de uso regular y rutinario, al tiempo que ofrecen una durabilidad apropiada. Los morteros y encalados mezclados en caliente son ex-

is comparable to that of hydraulic lime mortars, whilst the necessary aftercare is less for the former than for the latter. Hot mixes ‘case harden’ quite readily, protecting the interior of the mortar from drying too fast, as well as from frost. Hot mixed mortars manage water content very differently to other forms of lime mortar, locking this in, so that in use, hot mixed mortars ‘hold-up’ better during building and do not release lime onto the masonry below; for plastering, they may be applied at close to the liquid limit without slumping or undue shrinkage. They are exceptionally workable, a characteristic to which all practitioners respond very

traordinariamente duraderos sin adiciones. El tiempo inicial de curado para los morteros mezclados en caliente es comparable con el de los morteros de cal hidráulica, mientras que el cuidado posterior necesario es menor para el primero que para el último. Las mezclas en caliente endurecen bastante fácilmente, protegiendo el interior de los morteros de un secado demasiado rápido y también de las heladas.

Los morteros mezclados en caliente gestionan el contenido de agua de manera muy diferente a otras formas de morteros de cal, reteniéndola durante su puesta en obra sin chorretones de cal por debajo entre la obra de fábrica; para revestimientos, se pueden aplicar cerca del límite líquido sin contracción excesiva o caída. Son excepcionalmente trabajables, una característica a la que todos los maestros de obra responden muy positivamente. Los morteros pueden usarse mientras se están apagando y en estado líquido para efectivamente rellenar los huecos del interior de la obra de fábrica, y posteriormente endurecer y expandirse

positively. Mortars may be used whilst still-slaking and in a liquid state to effectively fill the voids in rubble core work, later stiffening and expanding slightly. Hot mixed lime mortars are less vulnerable to rapid drying-out and require less protection against this, as well as against frost damage. Quicklime is significantly less expensive than either putty lime or NHL and is generally available in all parts of the world. Where it is not, but there is limestone or sea-shell, small-scale lime burning would be eminently feasible and economic, as, indeed, it would be in the UK, to burn locally specific limestones and to produce mortars of eminently appropriate

ligeramente. Los morteros de cal mezclados en caliente son menos vulnerables al secado rápido y requieren menos protección contra esta circunstancia, además de contra el daño por heladas. La cal viva es considerablemente menos cara que la cal en pasta o la NHL y es generalmente disponible en todas partes del mundo. Donde no la hay pero existen piedras calcáreas o conchas marinas, la cocción de la cal a pequeña escala sería tremendamente fácil y económico, equivalente a lo que supondría cocer piedra caliza local en el Reino Unido para obtener morteros de composición, carácter y prestaciones bastante apropiados. La cocción de la cal a pequeña escala podría llevarse a cabo a temperaturas tradicionales y facilitaría el uso renovado de cales poco hidráulicas locales.

Los enfoscados se mezclaban típicamente caliente y se aplicaban en forma de estrato grueso durante un periodo de tiempo para permitir el apagado tardío de parte de la cal viva. Antes del siglo XX, la cal viva se apagaba por inmersión o se pasaba a pasta, permitiendo retirar

los grumos no apagados o sobrecocidos exclusivamente para acabados finos. Los enlucidos mezclados en caliente pueden aplicarse en estado líquido sin hundirse y con una retracción controlada, dependiendo de la mezcla de áridos y del material orgánico (pelo de buey o fibra; heno o cáñamo). Los enlucidos de tierra fueron también típicamente aplicados en estado líquido, añadiendo heno (rara vez paja) o pelo de buey y las características de un enlucido de tierra mezclado en caliente son muy similares en términos de adherencia, resistencia y trabajabilidad. Los enlucidos de tierra parecen haber incluido una medida de cal viva. Aunque algunos revestimientos exteriores (y ciertamente en la práctica escocesa) se habrán aplicado en caliente, maximizando los beneficios de su estructura porosa, la mayoría de los enlucidos mezclados en caliente se habrán reservado para su uso posterior. Incluso, un día después del mezclado, la elasticidad de los enlucidos mezclados en caliente mejora. Un enlucido mezclado en caliente es eminentemente trabajable y pegadizo y presenta

una adherencia pertinaz e inmediata con el sustrato además de una estructura eminentemente transpirable.

El encalado y las lechadas de la cal son más efectivos –y los pigmentos y otros aditivos más eficientemente mezclados– si el material está todavía caliente, lo que también permite la aplicación de estratos más gruesos de encalado, como se han podido observar en edificios históricos, mientras el retacado de las juntas puede tener lugar tanto en caliente como en frío, normalmente dependiendo de la época del año y de la geología del sustrato. Una vez más, el curado se verifica más lentamente con menos riesgo de un secado demasiado rápido.

El mezclado en caliente de morteros de cal aérea proporciona una actividad previa inesperada casi hidráulica debido a la reactividad de la cal en proceso de apagado y la arena o el polvo de piedra, tanto si son lavadas como no. Este es un hecho que reclama mayor investigación, pero la presencia de arcillas (y de las partículas porosas como inclusiones de ladrillo o de piedra caliza) dentro de la mezcla

composition, character and performance. Small-scale lime burning would be carried out at traditional temperatures and would facilitate the renewed use of locally specific feebly hydraulic limes. Plasters were typically hot mixed and laid down as coarse stuff for a period of time to allow for late-slaking of some of the quicklime. Quicklime was slaked by immersion or run to putty, allowing for the removal of unslaked or over-burned lumps, for fine finish coats only in most periods prior to the 20th C. Hot mixed plasters may be applied at the liquid limit without slumping and with manageable or little shrinkage, depending upon the mix of aggregates

and organic material (ox-hair or fibre; hay or hemp shiv). Earth plasters also were typically applied at the liquid limit, with added hay (rarely straw) or ox-hair and the characteristics of an earth and a hot mixed lime plaster are very similar in terms of bond-strength and workability. Earth plasters seem to have generally included a gauge of quicklime. Although some external rendering (and certainly harling in Scottish practice) will have been applied hot, maximising a beneficial pore structure, most hot mixed plasters will have been set aside for later use. Even a day after mixing, the elasticity of a hot mixed plaster is improved. A hot-mixed

plaster is eminently workable and sticky and enjoys a strong and immediate bond with the substrate as well as an eminently vapour-open structure. Limewashing and shelter-coating is more effectively executed –and pigments or other additives more efficiently engaged– whilst the material is still hot, which also allows the laying on of thicker coats of lime wash (consistent with observed historic practice), whilst pointing mortars might be used either hot or cold, often depending upon the time of year and the geology of the substrate. Once more, curing occurs more slowly, with less risk of too rapid drying. Hot mixing of air lime mortars delivers previously

19. Reparaciones recientes con morteros mezclados en caliente, York Minister.

19. Recent hot mixed mortar repairs, York Minister.

20 (a-b). Juntas gruesas de mortero y tapia valenciana – ambos ejemplos prácticos empleando mortero de cal mezclado en caliente (Fotos Pat McAfee).

20 (a-b). Thick mortar joints and brick-reinforced rammed earth – both only practical using hot mixed lime mortar.

21 (a-b-c). El muro a la derecha mantiene NHL 5.

21 (a-b-c). Wall to right retains NHL 5.



19



20a

20b



de áridos en caliente proporciona beneficios de un fraguado más rápido además de una rápida y profunda carbonatación, lo que parece que mejora la resistencia a compresión. Sin embargo, este efecto no debería ser comparado con las prestaciones de las modernas cales naturales hidráulicas producidas industrialmente a gran escala y a temperaturas más altas que las tradicionales.

CONCLUSIÓN

Rara vez se encuentran buenas razones para no tener en consideración los documentos históricos y las evidencias arqueológicas de los morteros originales y no buscar reproducir su carácter y su funcionamiento –no servilmente pero sí en términos generales como premisa de

unexpected quasi-hydraulic activity due to the reactivity of the slaking lime and the sands or stonedusts, whether these are washed or not. This is an area that demands more research, but the presence of clays (and porous particles such as brick or limestone inclusions) within an aggregate mixed hot will deliver benefits of faster setting as well as of more rapid deep carbonation, it would appear, and some enhancement of compressive strength. This effect should not, however, be equated to the performance of modern, high volume production ‘natural hydraulic limes’ burned at higher than traditional temperatures.

CONCLUSION

There is rarely any good reason not to take into consideration the historic documentary written and archaeological ev-

partida. Los morteros históricos de cal no estaban estandarizados, sino eran variables según las circunstancias y el albañil involucrado. No obstante, las prácticas artesanas muestran una consistencia extraordinaria, según indica la evidencia, morteros mucho más ricos en cal de los que generalmente se prescriben en la actualidad, y que eran morteros mezclados en caliente usando cal viva. No está nada claro en qué se basaron para decidir hace 40 años que sabíamos más que incontables generaciones de artesanos constructores, permitiendo incluso a los restauradores ignorar no sólo las altas proporciones de cal generalmente usadas sino también la naturaleza de la cal empleada y el método general de producir un mortero adecuado.



idence from the original mortars and to seek to reproduce their character and their performance –not slavishly, but in general and in principle. Historic lime mortars were not standardised, but variable according to circumstance and to the craftsmen involved. Craft practices show remarkable consistency, however, on the available evidence, in producing mortars very much richer in lime than any generally, if ever, specified today and which were hot mixed using quicklime. It is entirely unclear to us on what basis it was decided over the last 40 years that we knew better than uncountable generations of building craftsmen, allowing even conservators to ignore not only the higher proportions of lime generally used but also the nature of the lime deployed and the general method of producing a suitable mortar.



BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

ALBERTI (1486) *On the Art of Building in Ten Books* Rykwert et al 1988 English edition

ALLEN, G, ALLEN, J, ELTON, N, FAREY, N, HOLMES, S, LIVESEY, P, RADONJIC, M (2003) *Hydraulic Lime Mortar for Stone, Brick and Block Masonry, Donhead, Dorset.*

BURNELL G R *Rudimentary Treatise on Limes, Cements, Mortars, Concretes, Mastics, Plastering, etc Scholar's Choice* (undated, late 19thC)

BS 7913, (1998) 'The principles of the conservation of historic buildings' BSI

COPSEY, GOURLEY & ALLEN (2010) *Mud Mortars in Masonry Construction – Malton, North Yorkshire.* HMC2010 Prague. RILEM and www.maltonbuildingsgroup.com

COPSEY Malton Building Contracts transcribed from ZPB III 8/7/2 Valuations of Fixtures, 1853-1862 NYCRO, www.maltonbuildingsgroup.com

DEL RIO, M (1830) *Memoria Sobre los Conocimientos actuales de las materias propias para la formacion de los morteros y argamasas calcareas que se emplean en la construccion de las Obras Civiles e Hidraulicas.* Madrid. Real Academia de San Fernando.

DIBDIN WJ LIME, Mortar & Cement: Their Characteristics and Analyses 1911 Nabu Public Domain Reprint

ESPINOSA, P (1859) *Manual de construcciones de albañilería.* Ingeniero Jefe de primera clase de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Severiano Bas

FORSTER, A (2004) *Hot lime mortars: A current perspective* *Journal of Architectural Conservation*

FREW, REVIE, MCELVEEN, MCAFEE ET AL (2015) *The Hot Lime Mortars Project Phase I Report*

GARCÍA LÓPEZ DEL VALLADO, J L (2009) *La Cal en Asturias*, Museu del Pueblu D' Asturias

GIBBONS, P (2003) 'The preparation and use of lime mortars' Technical advice note 1, Historic Scotland

GILLMORE Q A (1886, but written 1861) *Practical Treatise on Limes, Hydraulic Cements and Mortars.*

GILLMORE Q A (1864) *Practical Treatise on Limes, Hydraulic Cements and Mortars, Containg Re-*

ports of Numerous Experiments Conducted in New York City during the years 1858 to 1861.

GORETI MARGALHA; ROSÁRIO VEIGA; ANTÓNIO SANTOS SILVA; JORGE DE BRITO *Traditional Methods of Mortar Preparation: the Hot Lime Mix Method.* *Journal of Cement and Concrete Composites* 2011.

HENRY & STEWART (Eds) (2011) *Mortars, Renders & Plasters, Practical Building Conservation Series, Historic England.* Ashgate

HIGGINS B 1780 *Experiments and Observations Made with the View of Improving the Art of Composing and Applying Calcareous Cements and of Preparing Quicklime.*

HISTORIC SCOTLAND CONSERVATION TEAM/JESSICA SNOW (2015) *Hot Lime Mortars Inform Guide*

HITCHCOCK ET AL (1861) *The Geology of Vermont*

HOLMES, S (1993) *Hot Limes in a cold climate* *Building Limes Forum Journal*

HOLMES & WINGATE (2002) *Building With Lime* ITDG

HUGHES J & VALEK J (2003) *Mortars in historic buildings: A review of the conservation, technical and scientific literature'* Historic Scotland HMSO

LYNCH, G (2007) *The myth in the mix. The 1:3 ratio of lime to sand* *Building Conservation Directory*

MOXON J, *MECHANICK EXERCISES; or the Doctrine of Handy-works applied to the Arts of Smithing, Joinery, Carpentry, Turning, Bricklayery* 1703

PASLEY C W (1826) *Practical Construction*

PASLEY C W (1838) *Observations on Limes, Calcareous Cements, Mortars, Stuccos and Concrete, and on Puzzolanas, Natural and Artificial.*

TOTTEN (see Treussart below)

TREUSSART (1842) *Essays on Hydraulic and Common Mortars and on Lime-Burning, Translated from the French by M Petot and M Courtois, With Brief Observations of Common Mortars, Hydraulic Mortars and Concretes, and an Account of Some Experiments Made Therewith at Fort Adams, Newport Harbour, Rhode Island from 1825 to 1838* by J G Totten.



21a



21b



21c