

02-003

Mortar with impermeabilizing properties using phyllites

Eduardo Garzón Garzón¹; Norberto Escobar¹; Pedro José Sánchez-Soto²

¹Universidad de Almería; ²Instituto de Ciencia de los Materiales de Sevilla (ICMS), Centro Mixto Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Universidad def Sevilla (US);

This study shows the preparation of an inorganic new mortar with impermeabilizing properties based on phyllites. A particular granulometry in its formulation is considered, with addition of a binder and an organic compound of high molecular weight, which presents, at least, an ether group in the structure.

Using the presented formulation, the mortar increases the mechanical strength as a function of curing time. The innovation of this investigation is in relation with the procedure of preparation of the new mortar and their applications. It can be projected using a gunning system to cover horizontal and vertical surfaces, for instance in building construction, according to the percentage of phyllites used in the formulation.

Keywords: mortar; impermeabilizing; phyllites

Mortero impermeabilizante en base a filitas

Se presenta un mortero impermeabilizante inorgánico que emplea filitas con una granulometría específica en su formulación, un aglomerante y un aditivo orgánico de alto peso molecular con, al menos, un grupo éter. El aditivo incorporado al mortero aumenta la resistencia mecánica del mismo en función del tiempo de fraguado. La novedad también está relacionada con el procedimiento de preparación del mortero impermeabilizante y con su aplicación, incluso proyectado, para superficies horizontales y verticales en obra civil, según el porcentaje en pesos de filitas en su formulación.

Palabras clave: Mortero; impermeabilizante; filitas

Correspondencia: Eduardo Garzón Garzón egarzon@ual.es



1. Introducción

El empleo de la filita o materiales similares a ella, se remonta a la época de los romanos cuando restos de tejas impermeabilizantes fueron colocadas en la base del pantano de Proserpina que suministraba agua a Emérita Augusta (Mérida). Los constructores de la época también empleaban estos materiales para la construcción de puentes y carreteras que atravesaban cauces fluviales y en la construcción de termas y baños públicos.

Un uso mucho más moderno es su empleo como material impermeabilizante de embalses (Garzón et al. 2005), en la presa de Benínar (Almería). En este sentido Laird (1999) señaló que la naturaleza impermeabilizante de este material está relacionada con el agua que queda retenida en los filosilicatos, aumentando la superficie de hidratación, pero este efecto solo se produce en las capas más externas que están en contacto con el agua. A pesar de la gran cantidad de aplicaciones que se le da a este tipo de material, hasta la fecha los estudios realizados sobre el uso de las filitas como material impermeabilizante se limitan a una descripción basada en su apreciación física, resultado del amplio conocimiento extendido de su aplicación y del bajo coste que conlleva su explotación. Garzón et al. (2010) han llevado a cabo el estudio de las propiedades físicas y geotécnicas que son de interés a la hora de estudiar la preparación de un mortero impermeabilizante como el objeto de estudio del presente trabajo. En este sentido los morteros hidráulicos están constituidos en un alto porcentaje por agregados (50-80% en volumen); esto no los hace más importantes que el resto de componentes, como son el cemento, el agua, el aire natural atrapado, el aire incorporado o los aditivos que se les añada. Pero son los agregados los que más influyen en las características finales del mortero, tanto en estado plástico como una vez que la mezcla ha endurecido.

Los morteros impermeabilizantes tienen la particularidad de estar compuestos por los áridos de menor tamaño, además de llevar aditivos especiales para darles mayor eficacia. Ello le confiere la característica de tener menor cantidad de poros y de menor tamaño. También poseen menor número de conductos capilares en su interior una vez endurecido, lo que evita la succión del agua mediante las fuerzas capilares. Los aditivos que se emplean para proporcionar el poder impermeabilizante son de dos tipos: 1) Jabones metálicos: estearatos, oleatos, lauratos, etc. (hidrófobos) y 2) Sulfato de aluminio, carbonato sódico, oxalato sódico y coloides susceptibles de hincharse. Sobre este punto, Alsina (2006) desarrolló un mortero al que le incorporó unas armaduras en forma de pelos de fibra sintética y resina acrílica de base acuosa, consiguiendo una pasta maleable de alto poder adhesivo que, una vez seca presenta gran flexibilidad y una alta capacidad de impermeabilización.

Más tarde Torres et al. (2007) utilizaron la porosimetría de intrusión de mercurio para determinar el tamaño promedio y la distribución de poros en morteros, encontrando que el caolín y el hidróxido de calcio producido por la reacción de hidratación del cemento, provocan un efecto de microrelleno, alterando la estructura porosa, reduciendo el diámetro promedio de los poros y disminuyendo la permeabilidad. Además, Fernández-Jiménez (2010) encontraron que la porosidad de los morteros influye en las resistencias mecánicas y durabilidad, ya que puede facilitar el ingreso de agentes agresivos. Por último Ferrandiz-Mas y García-Alcocel (2012) vieron que un aditivo fluidificante aumentaba la resistencia a flexión del mortero y lo hacía menos poroso. En relación a lo expuesto en los antecedentes, los objetivos principales de esta investigación se van a centrar en: 1) desarrollar morteros impermeabilizantes a base de filita para su uso en obra civil; 2) caracterización de las propiedades físico-químicas y mecánicas de los mismos y 3) comprobación de las aplicaciones como material impermeabilizante y optimización de su formulación.

2. Metodología

La composición del mortero desarrollado en este trabajo de investigación se basa en una mezcla de filita con un cemento comercial, según UNE-EN 197-1 (2000), compuesto por Clinker, adiciones de caliza y componentes minoritarios. La filita empleada en el mortero tiene un tamaño inferior a 0,08 mm, ya que así se facilita la reacción con el cemento.

2.1 Determinación de la densidad del mortero en seco

Se prepararán muestras de 500 gramos de peso cada una, variando el porcentaje de sus componentes. Se empieza determinando la densidad de conjunto de una muestra con el 100% en peso de cemento y el 0% de filita para posteriormente ir variando las proporciones de los componentes en un 10% hasta llegar a una muestra con el 100% de filita y el 0% de cemento.

Los materiales necesarios en este ensayo son: molino de bolas, embudo de cristal con su soporte vertical, probeta de 159 centímetros cúbicos y una balanza.

Empezaremos mezclando el cemento y la filita de manera homogénea. Para ello se utilizará un molino de bolas, pero sin usar las bolas y se dejará que se mezclen durante 10 minutos. Posteriormente se colocará la probeta debajo del embudo y se pasará parte de la muestra ya mezclada a través del embudo hasta llenar la probeta. Una vez llena se enrasa y se pesa. Conocidos el volumen y el peso, se determinará la densidad de conjunto de la muestra.

Finalmente se seleccionarán las tres mezclas que habiendo dado un valor de densidad superior a 0,50 g/cm³, contengan mayor porcentaje de filitas.

2.2 Retención de agua del mortero

En este ensayo usaremos los siguientes materiales: embudo metálico, tamiz metálico, papel de filtro, matraz kitasato, bomba de vacío, balanza, compuesto químico retenedor de agua y un molino de bolas. Usaremos las tres mezclas seleccionadas en el ensayo de densidad, procediendo de la siguiente forma: 1) Se prepararán muestras de 2000 gramos para cada tipo de mezcla, 2) Se homogeniza en el molino de bolas durante 5 minutos y posteriormente se divide en 4 submuestras de 500 gramos, 3) A la submuestra se le añade el 40% en peso de agua (200 gr), 4) En el embudo con la criba se coloca el papel de filtro mojado y se pesa (P0), 5) Se amasa la submuestra mezclando los 500 gramos de material sólido con los 200 gramos de agua, 6) Se rellena el embudo, se enrasa y se vuelve a pesar (P1), 7) Todo el sistema se coloca sobre el matraz kitasato y se conecta a la bomba de vacío durante 5 minutos. Pasado ese tiempo se vuelve a pesar (P2), 8) A la siguiente submuestra se le añade un 0,01% en peso de retenedor de agua, 9) Se le añade la misma cantidad de agua y se hace la misma operación que con la primera submuestra, 10) A la tercera submuestra la proporción de 0,05% y por último, 11) A la cuarta submuestra se le añade el 0,07% de retenedor.

Una vez obtenidos los tres pesos de las distintas muestras, se realizarán los siguientes cálculos para poder determinar el porcentaje de agua retenida: 1) Se calcula la masa de agua total del mortero que será: $Magua = (P1 - P0) \times 0,40$, 2) Se determina la cantidad de agua que se ha perdido (retenida del mortero), que será: $Magua\ perdida = P1 - P2$, 3) Posteriormente se obtendrá la cantidad de agua retenida en el mortero mediante el siguiente cálculo: $Magua\ retenida = Magua - Magua\ perdida$, y por último 4) el porcentaje de agua retenida se obtiene con la siguiente fórmula: $\% \text{ agua retenida} = Magua\ retenida / Magua$.

2.3 Consistencia del mortero

En este ensayo se estudiarán las tres mezclas que se seleccionaron en el ensayo de densidad. Para cada mezcla se prepararán 2000 gramos, que se dividirán en dos muestras

de 1000 gramos cada una. Una se ensaya sin añadir ningún tipo de aditivo, mientras que a la segunda muestra se le añadirá un 0,005% de aditivo. El volumen de agua de amasado será entorno al 40%. El procedimiento a seguir en este ensayo será el establecido en la norma UNE 83811 (1992 EX), con mesa de sacudidas.

2.4 Resistencia mecánica a flexión y a compresión

Para este ensayo se van a utilizar las mismas mezclas que el ensayo de consistencia, incluidas las dos muestras, una con aditivos y la otra sin aditivos. El procedimiento a seguir será el que establece la norma UNE-EN 1015-11: 2000/ A1 (2007).

Se realizaron seis probetas para cada tipo de muestra, tres con aditivos y las tres restantes sin aditivos. De cada tres probetas una se somete a ensayo a los siete días y las dos restantes a los veintiocho días. Las probetas permanecerán todo el tiempo de fraguado en la cámara. Durante los siete primeros días permanecerán en el molde y los días restantes hasta completar los veintiocho días estarán desmoldadas. La cámara permanecerá a una temperatura de unos 26 ± 2 °C y a una humedad relativa del 95 ± 5 %.

2.5 Análisis del mortero mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).

Para este análisis, las muestras de estudio se obtendrán de los restos de superficies de fractura obtenidos en el ensayo de rotura a flexión y a compresión. Las muestras serán de un tamaño no superior al de un prisma de dimensiones (2x3x5) mm. Dicha muestra se fijará a un portaobjetos de carbono donde deberá quedar en reposo al menos 30 minutos antes de introducirla en el microscopio electrónico. Este ensayo se realizará en un microscopio electrónico de barrido HITACHI modelo S-3500N.

2.6 Determinación de la superficie específica, tamaño de poros y permeabilidad por el método de adsorción de gas nitrógeno

La determinación de la superficie específica y estructura de los poros se realiza con el método de adsorción de gas nitrógeno a la temperatura del nitrógeno líquido (-180°C). No se trituran las muestras, sino que son dispuestas directamente en el portamuestras. La determinación de la superficie específica se ha estimado a través del método de Brunauer, Emmett y Teller (BET) y el método de Langmuir. La distribución del tamaño de poro y el volumen total de poros de la muestra fue evaluada a través del método Single Point, Barret, Joyner, Halenda (BJH), comparando la distribución de tamaño de poro de la muestra natural en la fase de desorción con los datos de intrusión del gas nitrógeno. Para correlacionar resultados de adsorción de gas Nitrógeno con la permeabilidad al agua se ha seguido la metodología descrita en Garzón et al. (2016).

3. Resultados y discusión

3.1 Determinación de la densidad

Los resultados del ensayo de la densidad del mortero seco determinan que la filita posee una menor densidad que el cemento blanco (Tabla 1). La densidad de los puntos intermedios estudiados cambia de manera muy progresiva respecto a los puntos extremos de la tabla, no existiendo cambios significativos. Se puede observar que la densidad del conjunto de los morteros obtenidos disminuye progresivamente a medida que aumenta el contenido de filitas, pasando de 0.91 g./cm³ con 100% de cemento a 0.56 g/ cm³ con 100% de filita, siendo de 0.71 g/ cm³ si el porcentaje de ambos componentes es del 50%.

Tabla 1: Resultados de las densidades del conjunto de los morteros con diferentes proporciones de cemento y filita.

PUNTOS	CEMENTO (g)	CEMENTO (%)	FILITA (g)	FILITA (%)	PESO (g)	DENSIDAD (g/ cm ³)
1	500	100	0	0	145,5	0,91
2	450	90	50	10	128,1	0,80
3	400	80	100	20	126,9	0,79
4	350	70	150	30	121,3	0,76
5	300	60	200	40	115,3	0,72
6	250	50	250	50	113,7	0,71
7	200	40	300	60	112,8	0,70
8	150	30	350	70	105,1	0,66
9	100	20	400	80	97	0,61
10	50	10	450	90	93,1	0,58
11	0	0	500	100	90	0,56

3.2 Retención de agua

Para la realización de este ensayo se seleccionaron los morteros de la tabla 2. Se han seleccionado los morteros con menor porcentaje de cemento por ser más económicos, ya que los productos de origen natural siempre son más económicos que los productos de transformación industrial, como es el cemento. También hay que tener en cuenta que quien proporciona las propiedades impermeabilizantes es la filita. Por tanto es otra razón evidente por la que se eligen los morteros con mayor porcentaje de filita.

A continuación se muestran en la tabla 3 los resultados del ensayo correspondientes cada una a un mortero determinado. En la tabla se observan cuatro resultados correspondientes a las cuatro submuestras que se han realizado conteniendo distintas proporciones de aditivo. En la tabla 3 se presenta la muestra con el 90% de filita, observando que el comportamiento ha sido el esperado, reteniendo más agua cuanto mayor proporción de aditivo retenedor poseía. Es importante apreciar que la diferencia de agua retenida entre la submuestra 3 y la submuestra 4 es despreciable, siendo innecesario el empleo de tanto aditivo retenedor.

La muestra con el 80% en peso de filita ha retenido un menor porcentaje de agua respecto a la muestra con el 90% de filita como se observa en la tabla 3. También tenemos una anomalía en los resultados, ya que la submuestra 3 tiene mayor proporción de retenedor de agua que la submuestra 2 y ha retenido una menor cantidad relativa de agua. También podemos apreciar que la incorporación de grandes porcentajes de aditivo no implica un mejor comportamiento del mortero a la hora de retener agua, ya que los resultados de la submuestra 2 y 4 son casi idénticos.

Tabla 2: Puntos seleccionados del ensayo de densidades de conjunto en los que aparecen el % de sus componentes.

Puntos	Cemento (%)	Filita (%)
8	30	70
9	20	80
10	10	90

Tabla 3: Resultados de retención de agua para la muestra para todas las combinaciones filitas/cemento/aditivos.

MORTERO	CARACTERÍSTICA	RETENCIÓN DE AGUA (%)
90%/10% filita/cemento	sin aditivo	94,69
	con aditivo <0,01%	96,49
	con aditivo <0,05%	99,13
	con aditivo <0,07%	99,16
80%/20% filita/cemento	sin aditivo	84,27
	con aditivo <0,01%	87,62
	con aditivo <0,05%	85,78
	con aditivo <0,07%	87,15
70%/30% filita/cemento	sin aditivo	91,68
	con aditivo <0,01%	87,02
	con aditivo <0,05%	89,91
	con aditivo <0,07%	87,25

La muestra con el 70% de filita ha tenido un comportamiento fuera de lo esperado, ya que al aplicar aditivo retenedor de agua ha disminuido su capacidad de retener agua, observándose su máxima capacidad retenedora en la submuestra sin aditivos (Tabla 3). Además, ha retenido un porcentaje de agua ligeramente superior que la muestra con el 80% de filita lo cual no era tampoco de esperar

3.3 Consistencia del mortero

A continuación se muestran los resultados de las tres muestras bajo estudio que son las mismas que las consideradas en el ensayo de retención de agua. Los resultados para cada

muestra se presentan en una tabla independiente dividida en dos apartados correspondientes a dos submuestras, una sin aditivos y otra con aditivos.

La muestra de mortero con el 90% en peso de filita ha tenido el comportamiento esperado, ya que la submuestra con aditivos posee mayor consistencia en relación a la submuestra sin aditivos (Tabla 4). La submuestra con el 80% de filita y sin aditivo ha incrementado su consistencia respecto a la misma submuestra con el 90% de filita (Tabla 4). Pero la submuestra con aditivo se ha comportado de forma anómala, ya que presenta una consistencia muy inferior a la submuestra sin aditivo y eso es algo que carece de sentido, aunque se trata de un hecho experimental debidamente contrastado. Por último, la submuestra sin aditivo con el 70% de filita ha seguido con la tendencia observada de un aumento del valor de la consistencia respecto a las demás submuestras sin aditivos, lo que nos permite asegurar que es el cemento quien proporciona la cohesión del mortero, mientras que la submuestra con aditivos sigue teniendo un valor de consistencia inferior que la muestra sin aditivos (Tabla 4). En comparación con las submuestras que poseen otra composición, ha continuado incrementando su consistencia respecto a la submuestra con el 80% de filita, pero sigue siendo inferior a la submuestra con el 90% de filita. En todos los casos se puede observar que los morteros tienen consistencia seca, ya que esta es < 140 mm (UNE 83814, 1992).

Tabla 4: Resultados medios de consistencia total (en mm) de los morteros preparados con 90%, 80% y 70% de filita en peso y 10%, 20% y 30% en peso de cemento, respectivamente, sin aditivo y con aditivo.

MORTERO	CARACTERÍSTICAS	CONSISTENCIA TOTAL (mm)
90% /10% filita/cemento	sin aditivo	123,7
90% /10% filita/cemento	con aditivo	127,2
80% /20 % filita/cemento	sin aditivo	115,7
80% / 20 % filita/cemento	con aditivo	125,2
70% /30 % filita/cemento	sin aditivo	120,5
70% /30 % filita/cemento	con aditivo	127,2

3.4 Resistencia mecánica a flexión y a compresión

A continuación se muestran los resultados obtenidos de resistencia mecánica de rotura a flexión y a compresión para cada tipo de muestra (Tabla 5). Según la norma UNE 83800 (1994) en el caso de la combinación 90% filita+10 % cemento equivale a un mortero M5 para la muestra sin aditivos y M7,5 en la muestra con aditivos. En el caso de la mezcla 80% filita+20% cemento equivalen a morteros de la clase M15 para las dos muestras. Y por último, la combinación de 70 % filita+ 30 % cemento ha dado morteros M30 para las muestras con aditivos y. sin aditivos (Tabla 5).

Una vez presentados los resultados de resistencia mecánica de estos morteros, podemos apreciar cómo a medida que disminuye el porcentaje de filita aumenta la resistencia mecánica tanto a flexión como a compresión. En lo referente a la comparativa entre probetas con aditivo y sin aditivo, se puede apreciar que, casi siempre, las probetas

preparadas con morteros que contienen aditivos son más resistentes que las que no los llevan (Fernández-Mas y García-Alcocel, 2012), aunque hay varias excepciones. Estas anomalías se asocian a que las probetas presentaban la mayoría grietas superficiales originadas por una incorrecta compactación del mortero en los moldes. También puede influir en las anomalías observadas el que las partículas de cemento no se hayan mezclado de una manera óptima. No obstante, se trata de unos resultados de interés en lo que respecta a la resistencia mecánica de los morteros obtenidos a base de filitas.

3.5 Análisis del mortero mediante microscopía electrónica de barrido (MEB)

Con motivo de las anomalías presentadas en el ensayo de resistencia mecánica a flexión y a compresión, se ha realizado un estudio con microscopía electrónica de barrido para realizar un análisis (visual) en busca de imperfecciones que den explicación a las diferencias de resistencia en probetas que pertenecían a una misma muestra. En la Figura 1 podemos observar el interior de una probeta (superficies de fractura) con el 10% de cemento y el 90% de filita y se puede apreciar la presencia de heterogeneidades debidas a burbujas de aire, además de pequeños orificios pertenecientes a poros de tipo "capilar" que se encuentran en el interior del mortero. También puede observarse que la mezcla entre cemento y filita no es homogénea a este nivel, ya que, se encuentran grumos de cemento.

Las imperfecciones presentadas en la muestra anterior se repiten en la mezcla del 70% de filita con el 30% de cemento. Pero esa mayor cantidad de cemento no se aprecia en la imagen, lo que sugiere que el cemento no se reparte de manera homogénea por la probeta, provocando la presencia de zonas más débiles en dicha probeta que es por donde se fracturaría de manera prematura. De ahí los resultados de resistencia mecánica que se han observado a los 7 y 28 días en las probetas preparadas con este mortero.

Figura. 1: Imagen del MEB ampliada x35 (probeta 10% cemento y 90% filita).



Tabla 5: Resistencia a flexión y a compresión del mortero a los 7 y 28 días, a diferentes proporciones de filita/cemento y viendo el efecto de los aditivos.

MORTERO	CARACTERÍSTICA	Resistencia a la flexión a los 7 días (N/mm ²)	Resistencia a la flexión a los 28 días (N/mm ²)	Resistencia a la compresión a los 7 días (N/mm ²)	Resistencia a la compresión a los 28 días (N/mm ²)
90% filita + 10% cemento	Sin aditivo	6,41	8,19	3,97	6,13
90% filita + 10% cemento	Con aditivo	6,41	6,41	5,05	7,89
80% filita + 20% cemento	Sin aditivo	9,26	11,04	10,07	15,47
80% filita + 20% cemento	Con aditivo	8,55	12,82	12,17	17,84
70% filita + 30% cemento	Sin aditivo	16,38	17,80	23,84	39,2
70% filita + 30% cemento	Con aditivo	16,38	21,01	23,89	37,17

3.6 Ensayo de adsorción de gas nitrógeno

Se observa que al aumentar el diámetro de los poros, tanto en la fase de adsorción como de desorción, el mortero se convierte en más permeable. Estos resultados coinciden con los encontrados por Fernández-Jiménez, et al. (2010) en morteros de ceniza volante activada y con diámetro de poro <20 nm. Las diferencias de permeabilidad en función de la composición del mortero son mínimas. Igualmente se ve que los morteros más impermeables son los que tienen el 90% de filita y llevan aditivos, seguido de los morteros con la misma proporción de filita pero sin aditivos. Dentro de los más permeables están los morteros al 70% y 80% de filita con aditivo.

Los coeficientes de permeabilidad se compararán con la tabla de clasificación de grados de permeabilidad de Terzaghi y Peck (Lambe and Whitman, 2001).

A continuación se presenta los valores de permeabilidad para cada muestra, fase, diámetro de poros y su grado de permeabilidad de acuerdo con dicha clasificación (Tabla 6). Se comprueba que todas las muestras son prácticamente impermeables, mientras que la diferencia de tener o no aditivos son prácticamente despreciables. Por último en la tabla 7 se observa que al aumentar el porcentaje de cemento en morteros se incrementa la superficie específica y dentro de los grupos con idéntico porcentaje de cemento, los morteros con aditivos registran valores más altos de este parámetro.

Tabla 6: Resultados de todas las muestras de estudio sometidas al ensayo de permeabilidad.

Muestra	Fase	Diámetro de poros	Permeabilidad (m/s)	Grado de permeabilidad
90% filita y 10% cemento sin aditivos	Adsorción	167,8-2,01	9,69 E-13 – 1,73 E-18	Prácticamente impermeable
	Desorción	101,77-2,39	4,12 E-13 – 1,00 E-18	
90% filita y 10% cemento con aditivos	Adsorción	182,5-1,98	9,48E-13 – 2,57 E-18	Prácticamente impermeable
	Desorción	115,2-1,9	3,97E-13 – 2,02 E-18	
80% filita y 20% cemento sin aditivos	Adsorción	185,2-1,98	1,30E-12 - 2,001 E-18	Prácticamente impermeable
	Desorción	116,2-1,95	4,82E-13 – 7,70 E-19	
80% filita y 20% cemento con aditivos	Adsorción	165,7-1,93	1,309E-12 - 3,01 E-18	Prácticamente impermeable
	Desorción	105,3-2,56	5,05E-13 – 9,83 E-19	
70% filita y 30% cemento sin aditivos	Adsorción	188,9-1,98	1,39E-12 - 3,5 E-18	Prácticamente impermeable
	Desorción	102-2,67	3,67E-13 – 6,15 E-19	
70% filita y 30% cemento con aditivos	Adsorción	151,6-1,91	1,277E-12 - 3,77 E-18	Prácticamente impermeable
	Desorción	106,8-1,76	6,62E-13 – 2,71 E-19	

Tabla 7: Evolución de la superficie específica por Single Point, BET y Langmuir en función de la relación filita/cemento y de la utilización de aditivos.

Muestra	Single Point superficie específica (m ² /g)	BET superficie específica (m ² /g)	Langmuir superficie específica (m ² /g)
10% cemento+90% filita sin aditivos	4,96	5,11	7,09
10% cemento+90% filita con aditivos	7,16	7,33	10,11
20% cemento+80 % filita sin aditivos	6,79	6,96	9,63
20% cemento+80 % filita con aditivos	11,72	12,16	16,88
30% cemento+70 % filita sin aditivos	9,89	10,16	14,06
30% cemento+70 % filita con aditivos	14,18	14,82	20,63

4. Conclusiones

Se han preparado distintos morteros en los que se han empleado contenidos variables de filita y un cemento comercial hasta llegar a un 90% de filita en peso. Tras el estudio de los distintos morteros hemos llegado a las siguientes conclusiones:

Los morteros con aditivos poseen un comportamiento mecánico mejor que los morteros sin aditivos.

El mortero con mejores cualidades para que su uso sea generalizado, a nivel comercial, es el obtenido a base de un 70% filita y un 30% cemento pues es el que posee una resistencia mecánica a flexión y a compresión superior. Esta alta resistencia lo hace el idóneo para resistir la erosión provocada por los efectos climáticos. También el mortero 70/30 se caracteriza por una mayor consistencia que lo convierte en el más idóneo para trabajar sobre paredes verticales. Y lo más importante, es el más económico.

El mortero realizado con el 80% de filita y un 20% de cemento también posee una gran trabajabilidad para ser usado tanto en superficies horizontales como verticales, pero presenta un 60% menos de resistencia a flexión como a compresión (comparando en el 70/30) y por tanto, no lo habilita para su uso en paredes exteriores sometidas a factores ambientales. Un uso idóneo serían las construcciones rurales destinadas al almacenamiento.

El mortero fabricado con un 90% de filita y un 10% de cemento queda totalmente descartado para su uso comercial por su baja resistencia mecánica a flexión y a compresión, a pesar de ser el más impermeabilizante de acuerdo con los datos de coeficiente de permeabilidad.

5. Bibliografía

- Alsina, J. (2006). *Adhesivo de base cementosa (patente número 2247924)*. Oficina Española de patentes y Marcas. Madrid. España.
- Fernández-Jiménez, A., Miranda, J.M., González, J.A., & Palomo, A. (2010). Estabilidad del estado pasivo del acero en morteros de ceniza volante activada. *Materiales de construcción*, 60 (300), 51-65.

- Fernández-Mas, V., & García-Alcocel, E. (2012). Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Pórtland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS). *Materiales de construcción*, 62 (308), 547-566.
- Garzón, E., Vázquez, J., Romerosa, A., Serrano, M., Ruiz, A., & Sánchez, P.J. (2005). Caracterización y aplicaciones de las filitas (launas) en obras de tierra. En *III Congreso Nacional de Agro Ingeniería*. León.
- Garzón, E., Sánchez-Soto P.J., & Romero, E. (2010). Physical and geotechnical properties of clay phyllites. *Applied Clay Science*, 48, 307-318.
- Garzón, E., Romero, E., & Sánchez-Soto, P. (2016). Correlation between chemical and mineralogical characteristics and permeability of phyllite clays using multivariate statistical analysis. *Applied Clay Science*, 129, 92-101.
- Laird, D.A. (1999). Layer charge influences on the hydration of expandible 2:1 phyllosilicates. *Clays and Clay Minerals* 47 (51), 630-636.
- Lambe, T.W., & Whitman, R.V. (2001). *Mecánica de suelos*. Instituto tecnológico de Massachusetts. USA.
- Torres, J., Mejía de Gutiérrez, R., & Puertas, F. (2007). Efecto de la temperatura de tratamiento de un caolín en la permeabilidad a cloruros en morteros. *Materiales de construcción*, 57 (285), 61-69.
- UNE 83811 (1992 EX). *Morteros. Métodos de ensayo. Morteros frescos. Determinación de la consistencia. Mesa de sacudidas (método de referencia)*. AENOR. Madrid. España.
- UNE 83814 (1992 EX). *Morteros: Métodos de ensayo. Morteros frescos. Determinación de la densidad aparente*. AENOR. Madrid. España.
- UNE 83800 (1994 EX). *Morteros de albañilería. Definiciones y especificaciones*. AENOR. Madrid. España.
- UNE-EN 197-1 (2000). *Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*. AENOR. Madrid. España.
- UNE-EN 1015-11:2000/ A1 (2007). *Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido*. AENOR. Madrid. España.