

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FILITAS UTILIZADAS COMO MATERIAL IMPERMEABILIZANTE.

E. Garzón¹⁾, A. Ruiz²⁾, P.J. Sánchez²⁾, M. Raigón³⁾

¹⁾Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería, La Cañada de San Urbano – 04120 - Almería, Spain.

²⁾Instituto de Ciencia de Materiales. Centro Mixto C.S.I.C. - US. Avda. Américo Vespuccio s/n, Isla de la Cartuja - 41092-Sevilla. Spain. email: pedroji@icmse.csic.es

³⁾Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales. ESII. Universidad de Sevilla. C/ Camino de los descubrimientos s/n. Isla de la Cartuja. 41092 – Sevilla, Spain

RESUMEN: Se presentan los resultados de múltiples ensayos hechos en laboratorio para caracterizar el comportamiento mecánico de las filitas utilizadas como material impermeabilizante de tejados de la Alpujarra (Andalucía). Para ello se ha realizado los siguientes ensayos: FRX, DRX, granulometría, límites de atterberg, peso específico, densidad natural con parafina, Proctor, permeabilidad con carga variable, edometro, corte directo, rotura a compresión, curva de retención y porosimetría de mercurio.

Encontrando que se trata de un suelo A2-4 compuesto por gravas y arenas limosas o arcillosas, con un peso específico de 2,82 gr./cm³. Este material sometido a un proceso de compactación baja la humedad óptima al aumentar la energía aplicada, convirtiéndose en impermeable y mucho más rígido. También se ha visto que al trabajar con humedades por debajo de la óptima aumenta el rozamiento interno y baja la cohesión. Sin embargo su resistencia compresión es muy baja siendo considerado como una arcilla muy blanda.

1.- INTRODUCCIÓN.

De forma general se considera a las denominadas "filitas" como rocas foliadas, cuyos componentes esenciales son filosilicatos de grano muy fino y cuarzo. Ocasionalmente pueden contener calcita (filitas calcáreas). Sus colores varían entre el beige, el violeta, el rojo y el negro. La abundancia de filosilicatos de grano fino les imprime un tacto untuoso y la presencia de foliación les confiere la propiedad de partirse fácilmente en lascas delgadas [1].

En la Sierra Nevada forman una orla de materiales permo-triásicos (pizarras, mármoles y filitas arcillosas). De la misma forma, en Sierra de Alhamilla (Almería) aflora una zona de filitas de colores azules, violáceos y rojizos, sobre la que encontramos calizas y dolomías separadas por una zona de transición de calcoesquistos, materiales todos ellos pertenecientes al complejo Alpujarride. Sin embargo, en Cuevas de Almanzora (Almería) las filitas van asociadas con yesos, calizas y dolomías. En otras zonas de Andalucía Oriental, como el Cerro de la Peluca en Málaga o la Sierra de Baza en Granada, también se ha descrito la presencia de filitas [2].

Este material en estado de trituración variable en relación con las zonas de falla, se utiliza eficazmente como impermeabilizante de los techos de las viviendas de la Alpujarra y en la Sierra de Baza. Igualmente se ha empleado en la impermeabilización del vaso de la Presa de Beninar (Almería). Sobre este punto [3] observo que el

agua retenida en los filosilicatos aumentaba la superficie de hidratación, pero este efecto sólo se producía en las capas más externas. Sin embargo en Brasil [1] utilizaron las filitas en la producción de PVC, como sustituto del carbonato de calcio, viendo que mejoraban algunas propiedades mecánicas.

Las filitas de la Alpujarra sufren diversos movimientos en masa como consecuencia de procesos de deslizamiento y/o flujo. Estos movimientos están condicionados, entre otros factores, por el ángulo de inclinación de las laderas, las propiedades mecánicas de los materiales y la presencia de humedad [4]. En este sentido, la baja resistencia mecánica de las filitas, las hace proclives a sufrir deslizamientos [5].

Debido a la gran variabilidad en la composición de las filitas y a que de ella dependen sus propiedades específicas y, finalmente, sus posibles utilidades, es indispensable caracterizar las filitas particulares de cada zona. Sólo a través del completo conocimiento de la composición de las filitas específicas de cada región es posible comprender sus usos tradicionales y tratar de mejorarlos. Sin duda, un mejor conocimiento de las propiedades mecánicas de las filitas de una zona concreta redundará en la caracterización de las tierras filíticas de otras zonas del mundo y en su posible utilización en procesos diferentes a los tradicionalmente empleados. En este artículo se caracterizan mecánicamente las filitas de la baja Alpujarra provenientes del término municipal de Berja (Almería), tradicionalmente empleadas en la impermeabilización

de tejados y balsas por su escasa permeabilidad al agua, por su bajo costo y por su abundancia.

2. METODOLOGÍA.

Para el presente trabajo se ha considerado una muestra de filita de color grisáceo, tacto untuoso y fácilmente exfoljable, procedente de una cantera situada en el término municipal de Berja (Almería). Se procedió a tomar una muestra representativa por sucesivos cuarteos, denominándose muestra todo-uno.

Partes alícuotas de este material se han estudiado por distintas técnicas experimentales como son DRX (Siemens D-5019), FRX (Siemens SRS-3000).

A otra parte, se ha caracterizado su comportamiento mecánico llevando a cabo los siguientes ensayos:

- Textura según la norma UNE 103101[6] y límites de Atterberg según las normas UNE 103103[7] y UNE 103104[8].

- El peso específico relativo de las partículas sólidas se ha determinado mediante picnómetros utilizando agua destilada como medio de suspensión siguiendo la norma UNE 103.302[9]. Y la densidad natural con parafina se ha realizado según la norma UNE 103.301[10].

- El suelo se ha sometido a diferentes grados de compactación (PN13golpes, PN26golpes, PN52golpes y proctor modificado) siguiendo las normas UNE 103500[11] y UNE 103501[12].

- Ensayo de permeabilidad con carga variable. Se hace sobre un anillo de muestra remoldeada (previamente se ha sometido al proctor normal (PN) al 5% de humedad), colocando silicona al anillo, para evitar que el agua pase entre las muestras y el anillo (antes de meter el cilindro con la muestra). Y sobre un cilindro que se llena de la muestra que previamente la hemos pasado por el tamiz nº 4. En ambos ensayos se mide el tiempo que tarda el agua en atravesar la probeta

- Edómetro sobre una muestra de filita que se había pasado por el tamiz número 4 y seguidamente se remoldea con un Proctor normal al 5% de humedad, siguiendo la norma UNE 103405[13].

- Corte directo sobre una muestra de filita que se había pasado por el tamiz número 4 y seguidamente se remoldea con un PN al 5% de humedad, siguiendo la norma UNE 103401[14]. Se ha hecho un consolidado y drenado y otro consolidado y sin drenar. Igualmente se han realizado dos cortes directos sin consolidar y sin drenar sobre muestras remoldeadas con el PN al 7,4% de humedad y con la humedad óptima (9,4%).

- Rotura a compresión sobre una muestra de filita que previamente se ha pasado por el tamiz número 4 y seguidamente se prepara un molde cilíndrico mediante PN (a 9,4% y 7,4 % de humedad), a ½ PN (a 12,16% y

10,16% de humedad) y a 2 PN (a 9,2% y 7,2% de humedad), siguiendo la norma UNE 103.400: [15].

- Curva de retención. Se ha realizado sobre una muestra de suelo que se había pasado por el tamiz nº 10, seguidamente se le añade agua hasta alcanzar el 9,4 % y se compacta en un cilindro. Esta muestra se pesa y se coloca en el psicrómetro una hora y se mide el voltaje en un voltímetro. A continuación se pesa la muestra y se deja secar hasta que pierda el 1% de humedad y se hace la misma operación. Por último con la curva de calibración del equipo pasamos el voltaje a succión.

- Porosimetría de Hg. Se ha hecho sobre un cubo de 4.22 gr de suelo natural que se ha colocado en el porosímetro. Y sobre muestras de suelo recompactado con proctor normal al 5% y 9.4 % de humedad, y con el proctor modificado al 5%, que habían estado sometidas a una sesión de freeze drying antes de ser colocadas en el equipo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1.- Caracterización

El análisis por DRX de las fases cristalinas presentes en la muestra reveló la presencia de moscovita, caolinita y clorita, además de cuarzo y óxido de hierro, como componentes mayoritarios, mientras que se observaron feldespatos y un mineral de tipo interestratificado cuya naturaleza (ilita-clorita?) no ha sido posible establecer de forma categórica entre otros componentes minoritarios.

La composición química elemental media de esta muestra determinada por FRX, expresada en porcentaje de óxidos, confirma la presencia de sílice (49% en peso) y alúmina (26%), procedente de los silicatos presentes, además de elementos alcalinos, fundamentalmente óxido de potasio en un contenido de 4,2% que se asocia con la mica. Destaca el contenido en óxido de hierro en torno al 10% y de calcio y magnesio (ambos en torno al 3%), siendo poco relevantes el resto de los constituyentes que complementan el 4,49% restante.

En la **tabla I** se observa la textura y límites de atterberg de la muestra de suelo analizada. Con estos valores se puede clasificar como un suelo A₂₋₄ compuesto por gravas y arenas limosas y arcillosas (según Highway Research Board).

Tabla I: Textura y límites de Atterberg de las filitas.

Textura			
Grava (>2mm)	Arena (0.074-2 mm)	Limo (0.002-0.074 mm)	Arcilla (<0.002 mm)
6.3	33.8	25.9	34
Límites de Atterberg			
LL	LP	IP	
25.5	17.2	8.4	

El peso específico obtenido a partir de la muestra en su estado natural es de 2,82 gr./cm³. Este valor esta

relacionado con la composición mayoritaria de la filita, que contiene moscovita con un peso específico relativo entre 2,7-3,1 gr./cm³, caolinita (2,64 gr./cm³) y clorita (2,6-2,9 gr./cm³). Además contiene cuarzo (2,65 gr./cm³) en un porcentaje menor [16]. En cuanto a la densidad natural con parafina representa el 71,95% del peso específico.

Al aumentar la energía de compactación aplicada a las filitas, se produce un incremento en la densidad seca y una disminución en la humedad requerida (figura 1). Este resultado confirma que cuanto mayor es el nivel de energía entregada al suelo, la densidad seca es mayor y se obtiene para un contenido de agua de compactación más bajo [17]. Y esta tendencia es más acusada al pasar de PN13golpes a PN26golpes y de PN52golpes al Proctor modificado. El hecho de que las diferencias entre PN y 2PN sean muy pequeñas, obedece a que la eficiencia de la energía de compactación aplicada al suelo se reduce en la medida que disminuye el índice de vacíos, pero estas disminuciones son rápidas al comienzo para disminuir posteriormente [17].

El coeficiente de consolidación de la muestra es de 0,059 que corresponde con una compresibilidad media. En cuanto a la máxima presión a la que ha estado sometido el material en toda su historia ha sido de 42,257 kPa y el coeficiente de expansión de 0.0056 (figura 2). El módulo edométrico deducido descende entre 10-20 kPa, sin embargo a partir de esta presión se registra un ascenso del mismo (Tabla II), esto quiere decir que las filitas se vuelven más rígidas al incrementar la carga aplicada.

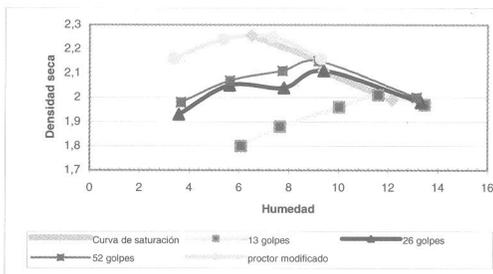


Figura 1: Evolución de la densidad seca y humedad con la energía de compactación en un suelo de filitas.

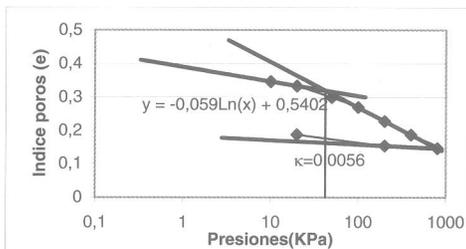


Figura 2: Curva edométrica de un suelo de filitas.

Las filitas tienen una cohesión de 0,14 y un rozamiento interno de 18°. Al hacer el corte en seco se produce un incremento de la cohesión (1,08) y del rozamiento interno (33°), teniendo un comportamiento similar a un limo no plástico. Sin embargo cuando la muestra procede de un proctor con una humedad del 7,4% baja la cohesión (0,66) y aumenta el rozamiento interno (35°). Este efecto cambia con la muestra compactada al 9,4%, ya que baja el rozamiento interno (16°) y aumenta la cohesión (1,27).

En cuanto a la resistencia a compresión se ve que cuando estamos dentro del lado seco se produce un incremento con la energía de compactación aplicada. Este efecto sólo se mantiene entre ½ PN y PN cuando trabajamos con humedades óptimas, observando una caída al subir a 2 PN. No obstante los valores de tensión de rotura están por debajo de 0.0245166Nw/mm² que permiten clasificar al material como arcilla muy blanda según [18]. Este mismo efecto se ha registrado con la deformación. Dentro del mismo nivel de compactación al bajar la humedad se incrementa la resistencia a compresión y baja la deformación producida.

También al aumentar la humedad la succión disminuye, y esta es máxima entre 4.7 y 5.7. En este sentido [19] afirma que los valores altos de succión están regulados por los poros intra-agregados y bajo estas condiciones, un cambio en la medida del suelo se refleja en un cambio de vacíos de los macroporos lo cual tiene una pequeña influencia sobre la succión. Sin embargo los valores bajos de succión dependen primordialmente del efecto capilar y de la distribución de poros [20]

Sobre este punto en la figura 3 se analizan la distribución de poros en diferentes estados de compactación. Observando que en el suelo natural la mayor parte de los poros están comprendidos entre 7-50 µm. Sin embargo con el suelo remoldeado el diámetro de los poros aumenta, alcanzando el valor máximo de poros entre 100-300 µm cuando se compacta al PN y humedad óptima, al bajar la humedad de compactación (5%) el PSD comprendido entre 100-300 µm baja, aunque aparece una mayor proporción comprendida entre 300-7000 µm. Al subir la energía de compactación al PM (5%), baja aun más el volumen de poros comprendidos entre 100-300 µm y el máximo se desplaza entre 500-1000 µm, y cae bruscamente el volumen de poros grandes.

2.- Aplicaciones

En cuanto a la permeabilidad de las filitas se ha comprobado que disminuye con el índice de poros pasando de valores menores de 2,35335x10⁻⁷ m/sg con 1,133 de índice de poros (muestra en polvo) a 2.50571x10⁻⁹ con 0,395 (muestra compactada). Y esta variación de la permeabilidad se ha conseguido sometiendo a la muestra a un proceso de compactación con el proctor Normal al 5% de humedad (fig. 1).

Con este grado de compactación sometiendo a la muestra a un proceso de consolidación primaria y

secundaria en edómetro, el coeficiente de permeabilidad se situó entre 10^{-9} y 10^{-11} m/s (Tabla II). Estos valores de coeficiente de permeabilidad coinciden con una arcilla que con la compactación se convierte en prácticamente impermeable [16]. Por tanto si se aumentará la energía de compactación pasando al proctor modificado se incrementaría el grado de impermeabilidad de este material, aunque a consta de gastar mayor energía. Con estos resultados se puede afirmar que mejorando la compactación que se realiza actualmente de forma manual, podemos reducir la permeabilidad del material.

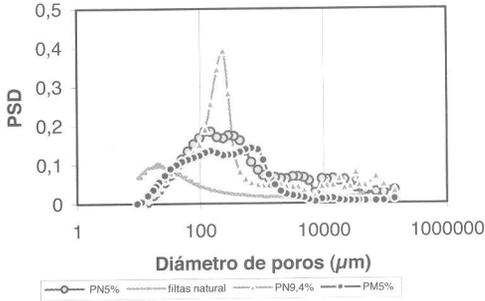


Figura 3: Porosimetría de mercurio de muestras de filitas en su estado natural y recompactadas.

Tabla II: Evolución de la permeabilidad al aumentar la presión de carga, en ensayo de consolidación en edómetro.

Parámetro	E_m (kPa)	C_v (mm ² /min.)	K_{ws} (m/s)
0-10 kPa	2900	14.9	8.3E-10
10-20 kPa	1750	14.04	1.3E-09
20-50 kPa	2420	17.99	1.2E-09
50-100 kPa	3700	9.7	4.2E-10
100-200 kPa	6625	11.95	2.9E-10
200-400 kPa	12900	9.1	1.1E-10
400-800 kPa	21000	7.7999	6.0E-11

Nota: $K_{ws} = \frac{1}{E_m} C_v \gamma_w$ donde K_{ws} (coeficiente de permeabilidad), E_m módulo edométrico, C_v Coeficiente de consolidación, γ_w peso específico del agua.

4. BIBLIOGRAFÍA.

[1] Valera, T.S., Ribeiro, A.P., Valenzuela-Díaz, F.R., Yoshiga, A. Ormanji, W., Toffoli, S.M., Annual Technical Conference – Society of Plastics Engineers (Vol. 3) 60 (2002) 3949-3953.

[2] Gómez-Pugnaire, M.T., Sassi, F.P., Visona, D., Boletín geológico y minero, T. LXXXIX-V (1978) 468-474.

[3] Laird, D.A., Clays and Clay Minerals 51 (Vol. 47) (1999) 630-636.

[4] Alcántara-Ayala, I., Geofísica Internacional 38 (1999) 1-3.

[5] López, J.C., <http://www.almeria.net/ecoalhama/numero1/cerrocroz.html> (1996).

[6] Une 103101, “Análisis granulométrico por el tamizado”, AENOR Madrid, 1995.

[7] Une 103103, “Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande”, AENOR Madrid, 1994.

[8] Une 103104, “Determinación del límite plástico de un suelo”, AENOR Madrid, 1993.

[9] UNE 103302, “Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo”, AENOR Madrid, 1994.

[10] Une 103301, “Determinación de la densidad natural de un suelo. Método de la balanza hidrostática”, AENOR Madrid. 1994.

[11] Une 103500, “Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal”, AENOR Madrid, 1994.

[12] Une 103501, “Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado”, AENOR Madrid, 1994.

[13] Une 103405, “Ensayo de consolidación unidimensional de un suelo en edómetro”, AENOR Madrid, 1994.

[14] Une 103401, “Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo”, AENOR Madrid, 1998.

[15] Une 103400, “Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo”, AENOR Madrid, 1994.

[16] Lambe, T. W., Whitman, R.V., “Mecánica de suelos”, Editorial Limusa, S.A. México D.F., México, 1998.

[17] Balmaceda, A.R., “Suelos compactados. Un estudio teórico y experimental”, Tesis doctoral, UPC, 1991

[18] Terzaghi, K., y Peck, R.B., “Soil mechanics in Engineering Practice”, John Wiley and Sons Nueva York, 1967

[19] Romero, E., “Termo-hydro-mechanical behaviour of unsaturated Boon clay: an experimental study”, Ph D. Thesis, Technical University of Catalunya Barcelona, 1999.

[20] Hillel, D., “Soil and water: Physical principles and processes”, Academic Press, New York, 1971.