

Método integral para conseguir técnicamente la estabilización óptima de la Tierra

1. A partir de los antecedentes analizados anteriormente se ha concluido que no existe aún un método concreto que tenga en cuenta los parámetros fisicoquímicos de los componentes arcillosos del material, que son precisamente los que más influyen en la consecución de la estabilización.

2. Ello nos ha llevado a seleccionar, simplificar y optimizar los ensayos que se requieren para obtener los parámetros fundamentales con mayor influencia sobre la estabilización.

La Parte Experimental que se ha realizado para desarrollar el método se ha dividido en:

-Grupo1. Se han tomado “**Arcillas Básicas naturales**” de los principales tipos existentes: La Caolinita, La Halloisita, La Illita, La Montmorillonita, y la Clorita. Éste configura la base científica del método de análisis, sobre la cual se confrontaran el resto de las tierras.

-Grupo2. El segundo grupo de muestras se caracteriza por tratarse de tierras de diversas localidades de la Península Ibérica utilizadas para la ejecución de “**Obras Actuales De Tierra Estabilizada**”, en las que se han empleado diversas tecnologías constructivas, desde el adobe, a los hormigones de tierra, el tapial comprimido mecánicamente, hasta el BTC con máquina manual e hidráulica.

-Grupo3. Y el tercer grupo lo integran las muestras de “**Tierras Tradicionales**”, poco estabilizadas o sin estabilizar, que se han expuesto brevemente en el capítulo de los antecedentes y de las que se muestran los resultados en los anexos, recogidas de diversas zonas geográficas, entre las cuales destacan algunas por su gran antigüedad.

Parte experimental GRUPO I ARCILLAS PURAS BÁSICAS

A priori se caracterizará físicamente cada especie mineral, descrita anteriormente, comprobando la validez del análisis con otras fuentes científicas.

Las arcillas básicas constituyen los aglomerantes primarios de cualquier tierra. Por ello es fundamental conocer como funciona su efecto de aglomeración individualmente, para a posteriori elaborar una hipótesis sobre su aglomeración cuando estén mezcladas entre sí, o bien con algún estabilizante.

La experimentación se ha realizado en un estado mínimo de humectación del material, para la obtención de máximas densidades, cómo es propio de la tecnología del BTC.

Principalmente los procesos de estabilización empleados para esta parte del estudio han sido tres:

-Acción defloculante¹ de la sosa caustica⁷ NaOH² sobre las estructuras de los filosilicatos, creando una estructura dispersa, no floculada, de menor porosidad, y con ausencia de fuerzas atractivas de valencia secundaria³ cara-borde durante la sedimentación alcalina, no salina, de mayor viscosidad y que provoca un aumento del límite líquido. El ión de sodio al hidratarse crece siete veces de volumen, formando una segunda capa, su energía térmica provoca repulsión compensada por la carga superficial negativa de la arcilla. A este efecto se suma su alcalinidad capaz de destruir uniones de carácter más fuerte (disociación de los oxhidrilos de las capas octaédricas, resulta carga negativa en los bordes repeliéndose con las caras, y aumento de la capacidad de intercambio catiónico), como los enlaces covalentes de las células básicas de las estructuras con sus componentes parciales de la sílice (SiO₂), de la gibbsita Al(OH)₃ y de la brucita Mg(OH)₂, lo que deja libre mayor cantidad de sílice e iones de gran potencial reactivo, que actuaran como aglomerante de base, para la formación de fases SCH (silicatos de calcio hidratados) y ACH (aluminatos cálcicos hidratados). Hay que tener en cuenta que las moléculas de Na⁺ son muy inestables y fácilmente desplazables por cationes

Adición de fase activas para la aglomeración:

-El cemento Pórtland empleado como aglomerante de base para introducir una cantidad mínima y necesaria de fases SCH y ACH³.

-El Cemento Natural de composición de crudo constante, es decir, conseguido por explotación de una única capa de estrato geológico, y aportación de una cantidad complementaria de yeso para aumentar la aportación potencial de las fases ACH (aluminatos de calcio hidratados).

Parámetros esenciales a investigar.

Basándonos en los Antecedentes, podemos creer en la hipótesis de que la consecución de las uniones más fuertes y estables en estas arcillas, está en función de la sílice y elementos trivalentes solubles presentes en la pasta hidratada. Asimismo puede ser básica la presencia de cationes de intercambio, sin olvidar la estructura cristalográfica de cada una de las arcillas⁴, fácilmente caracterizable por la técnica del XRD y complementada para su seguimiento por ATD/ATG:

Por ello los parámetros esenciales objeto de investigación serán:

-ATD/ATG Análisis térmogravimétrico

-SiO₂ Sílice soluble. Variabilidad con la estabilización.

-R₂O₃ Elementos trivalentes solubles. Variabilidad con la estabilización.

¹ *Geotécnia y Cemento I. Propiedades de los suelos y de las Rocas. Aut. J.A. Jiménez Salas y J.L. de Justo. Edit. Rueda. Madrid 1971*

² *En cerámica fina se sabe que las arcillas fluidificadas con iones alcalinos no se pueden moldear al torno después de prensadas, la unión del agua en arcillas de Na es mucho más intensa, reduciéndose plasticidad y contracción.*

³ *3 Mejoramiento y estabilización de suelos. Carlos Fernandez Loaiza. Prof. Univ Guanajuto. Ingeniería Ed. Limusa 1982 México*

³ *Cap. La estabilización. pag. 67. "Contruir con Tierra" T.II Aut. CRATERRE. Edit. Fondo Rotatorio. Colombia 1990.*

⁴ *"La determinación del tipo de mineral, cuando de estabilizaciones se trata, es una herramienta de mayor utilidad que por ejemplo la plasticidad empleada" Aut. C. Fernandez Loaiza. Edit. Limusa 1982*

-Ca⁺⁺ Na⁺ K⁺ Mg⁺⁺ Cationes presentes. Variabilidad con la estabilización.

- Capacidad de intercambio catiónico⁵ en m.e.q⁶.

-Límites de Atterberg⁴

-Densidades máximas. Variabilidad con la estabilización.

-Resistencias. Variabilidad con la estabilización.

-Absorción de agua.

-Durabilidad

Para la determinación de todos los parámetros físico-químicos se han utilizado todas las Normas Nacionales UNE y NTE, y las Internacionales ASTM expuestas en los antecedentes, y principalmente las que se reproducen en el capítulo de Anexos. A medida que se ha ido avanzando en la metodología de trabajo se han ido aplicando variantes en los principales métodos de laboratorio, muchas en función de la temperatura <60°C y de la preparación de la muestra, para evitar los problemas que se exponen en el capítulo correspondiente a la Crítica de los Antecedentes.

A continuación se puede observar, que a medida que se presenta toda la fase experimental de la presente Tesis, se hace referencia continua a las Normas a que pertenecen los criterios adoptados. Cabe añadir que a veces éstas son específicas de otros materiales pétreos, pero de las cuales también hemos extraído pautas de interés para nuestro método de trabajo.

Descripción de las Muestras Puras de Arcillas

A continuación se describen, de forma resumida, las principales características cristalográficas, organolépticas y físico-químicas de las arcillas básicas. Los criterios de su elección son en base a su abundancia en el contenido de las tierras habitualmente utilizadas en la Construcción con Tierra, así como por representar los principales tipos cristalográficos de las arcillas.

Características cristalográficas y químicas de las arcillas empleadas

Las series cristalográficas de arcillas empleadas son:

Caolinita. Procedencia : Cañada de Verich, Matarranya (Castellón) y WARD'S EE.UU ref. 49H 0290.

Características físicas: Tamaño $\cong 1\mu$. No es expansiva, baja plasticidad, baja cohesión, de difícil dispersión inclusive con ataque ácido⁹, límite tixotrópico 70-95⁷ grms agua/100.

Color marrón claro. Si₂ O₅ Al₂ (OH)₆ -Al₂ (OH)₂. Esto denota un alto contenido en alumina, y bajo en hierro. Presenta un 1% de contenido en yeso. Tiene un contenido de agua del 0.5% en una capa de 5 \oplus , con un área específica de 10cm²/gr³.

Un cristal de mineral de Caolín no consiste en una capa compuesta sino en un número muy largo de diferentes capas (≈ 100 capas con un grosor y radio medio 0.5 μ 10.000 \oplus x 1000 \oplus), las cuales pueden estar unidas a un libro donde cada página representa una simple capa de 720 \oplus de grosor. Hay que notar que no hay enlaces iónicos entre unidades vecinas; la

⁵ Grim en 1962 relaciona el M.e.q con el límite líquido, y encuentra su relación directamente proporcional.

⁶ Miliequivalentes. Peso/peso atómico x1000 1meq=6x10²⁰ cargas electrónicas respecto a la valencia.

⁷ Los fundamentos físicos y químicos de la cerámica. Aut. H.Salmangh Edit. Revertte S.A 1954

totalidad del cristal es mantenido junto por puentes de hidrógeno, que no se desasocian en contacto con el agua, dando poca expansividad, capacidad de intercambio catiónico (2.2-15 meq¹⁻⁷) y plasticidad. Éstas actúan entre grupos OH⁻ de las capas de Gibbsita y los átomos de Oxígeno de las capas de Silicio adyacentes (sistema de capa doble unidas por enlace de valencia, diez veces más fuerte que el de hidrógeno, T+O capas tetraédricas Octaédricas). Para que este débil enlace secundario sea efectivo, los oxígenos y grupos OH⁻ apropiados tienen que estar cerrados en conjunto; hay diversos caminos en los cuales una unidad puede ser amontonada sobre otra para conseguir su enlace y este dé origen a cuatro minerales distintos del tipo Caolín: Nacrita, Dickita, Caolinita, Haloisita.

Haloisita variante Indianita. Procedencia : Bedford (Indiana EE.UU) WARD'S Natural Science Establishment, Rochester NY.ref. 49H 5103. Características físicas: Tamaño $\cong 1\mu$. No es expansiva, baja plasticidad, baja cohesión, alto contenido en agua, límite tixotrópico 80-100 grms agua/100. Debido a su estructura polimórfica permite un mayor intercambio catiónico: 10-50¹³m.e.q y 20-40 según⁷. La forma deshidratada, la Metahaloisita, ya sólo posee de 5-10¹ m.e.q. *Abundante en zonas volcánicas. Color blanco y olor muy intenso.*

Debido a la ausencia de enlaces de hidrógeno entre unidades sucesivas, la estructura es penetrable por el agua dando formas hidratadas no homogéneas cuya fórmula podría escribirse como $\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Esta Haloisita hidratada pierde agua rápidamente a temperaturas cercanas a los 60°C y eventualmente se convierte en la metaforma la cual tiene la misma fórmula empírica que la Caolinita.

Illita. $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}]$. Procedencia E.U.A Ref. Ward's Catalog. 46E0315,46E4100. Características físicas: Tamaño $\cong 0.1\mu$. Es expansiva, plasticidad media, baja permeabilidad. Si es sódica se diluye rápidamente en agua, límite tixotrópico 110-170 grms agua/100 Si presenta efervescencia con ataque ácido indica que es Illita cálcica o magnésica. Color blanco cremoso beige y gris verde terroso, su rayado da color blanco. Tiene un contenido de agua del 5% en una capa de 5 \oplus , con un área específica de 100cm²/gr³.

Cristalografía: Sistema Monoclínico, cristales no distinguibles. Tacto: Untoso
Composición: Parecido a la mica y a la Xantofilita, pero conteniendo menos potasio y más agua combinada y menor sustitución de aluminio por Sílice en la capa tetraédrica, esto respondería al bajo contenido de potasio, destrucción parcial del puente alcalino de K⁺, parte de éste está sustituido por Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, dando una gran capacidad de intercambio en comparación a las micas (10-40¹ m.e.q), y al alto índice de Sílice, aunque no respecto a la mayor proporción de agua combinada. Por el contrario, al tener menor cantidad de uniones con cationes intercambiables, tiene menor capacidad de intercambio y expansividad que la Montmorillonita⁸. Es un material de grano fino presente en arcillas sedimentarias y asociada con la Montmorillonita o la Caolinita..Contenidos de potasio entre un 3-7 %, Sílice entre 38-53 % y Alúmina entre 9-32. La Illita constituye un estado progresivo de derrumbamiento de las estructuras de feldespato de capas séxtuples (T+O+T. T+O+T) a Caolinita desordenada. Reacción lenta con la cal, inhibición total en presencia de SO₃⁻. Se encuentra de forma natural combinada con la Montmorillonita.

⁸ Algunos autores la consideran muy similar a la montmorillonita, como serie isomorfa de sustitución de sílice Si⁺⁴ por alumina Al⁺³, compensando la carga residual negativa con cationes de Potasio K⁺.

Clorita. Procedencia. Collserola, Barcelona (Catalunya). Características físicas: Tamaño $\cong 0.1\mu$ Poco expansiva, poca resistencia a cortante. Difícil dispersión en agua, incluso con ataque ácido⁹. Color gris azulado. Intercambio catiónico 10-40 m.e.q¹ Así de la combinación de la unidad básica cargada de Mica con la unidad cargada de Brucita resulta la estructura ideal de la Clorita $\text{Si}_3 \text{O}_{10} \text{Mg}_5 \text{Al}_2 (\text{OH})_8$. Una estructura de capas séxtuples, dos triples con un puente alcalino iónico del catión K^+ (T+O+T. T+O+T). En ello estriba su laminación (grosor $\cong 0.1\mu$) y el no ser elásticas, también la falta de Alcalis, al tener carga – en la periferia de la capa Octaédrica (implica buena combinabilidad con cationes exteriores), y de no ser atacadas por los ácidos. Naturalmente ocurre que las Cloritas pueden desviarse considerablemente de la fórmula anterior por posibles sustituciones del Al por Si en la capa tetraédrica y de Fe^{2+} , Fe^{3+} por Al en la capa octaédrica. En un cristal de Clorita la secuencia Talco - Brucita se repite muchas veces (T+O+T.. +O). Se encuentra en la naturaleza combinada con las Illitas.

Montmorillonita sódica. Procedencia : E.U.A Ref. Ward's Catalog 49 H2600 Características físicas: Tamaño $\cong 0.01\mu$. Es muy expansiva, plasticidad alta, muy baja permeabilidad. Alto intercambio catiónico de 75³-150¹ m.e.q, hasta 100 según ⁷ (el Mg y el Al en baja proporción al ya pertenecer a la estructura). Según el ensayo de Emersson es la de mayor dispersión en agua. Si presenta efervescencia con ataque ácido indica que es Montmorillonita cálcica o magnésica Color blanco verdoso, pulverizada mucho más blanca. Límite tixotrópico 700-1350 grms agua/100⁷. En estos minerales, cada cristal simple está compuesto de un largo número de unidades con una fórmula próxima a la Brucita y la Gibsita, pero en capas adyacentes a estas unidades sólo hay capas de Sílice, donde no pueden haber enlaces hidroxilos exteriores y así las unidades están enlazadas por [fuerzas de Van der Waals](#). (sistema de capa triple O+T+O capas Octaédricas + tetraédricas + Octaédricas). Cada enlace es roto fácilmente por corte por lo tanto la Montmorillonita está pegajosa y suave cuando se enrolla entre los dedos. Tiene un contenido de agua del 50% en una capa de $5\oplus$, con un área específica de $1000\text{cm}^2/\text{gr}$ ³. Las de alto contenido en hierro se llaman nontronitas. Las ricas en Mg y poco aluminio son las saponitas, y si tienen litio (éste es muy poco estable) se conocen como hectoritas. Las deficitarias en silicio y ricas en aluminio se conocen como beidellita

⁹ Test de Emersson. Construir en Tierra. CRA Terre.

Identificación visual y organolépticas

El Reconocimiento de campo de las propiedades organolépticas de las arcillas puras se fundamenta en el análisis y obtención de los siguientes datos:

- Profundidad de obtención a partir de la superficie
- Inclusiones. Indicar si se trata de carbonatos, hierro, raíces, mat.orgánica, etc
- Textura y consistencia.
- Dispersión en agua
- Tipo de perfil geológico de la procedencia.
- Geología. Tipo de rocas o formaciones en la región.
- Aguas superficiales. Coloración turbidez.
- Erosión, deslizamientos y formación de microrelieve.
- Color homogéneo o de las posibles motas.

Esta características se muestran de forma metódica en el cuadro de la página siguiente, cómo ensayo previo para identificar las arcillas. Las deducciones iniciales serán ratificadas posteriormente por los resultados obtenidos de la sedimentometría, el ATD y el análisis químico.

En la parte inferior se muestra el color característico de las Arcillas Puras del Grupo I utilizadas en esta fase experimental. Ello sirve de referente, aunque el color es variable, sobretodo por la presencia de óxidos, tal como se describe en la carta de color de la página siguiente.

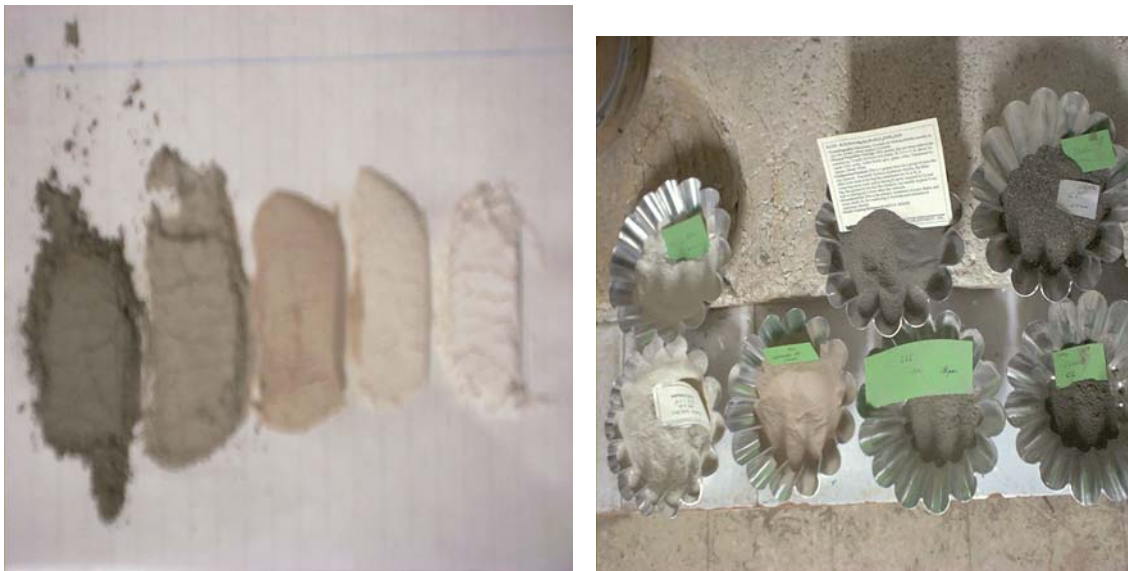
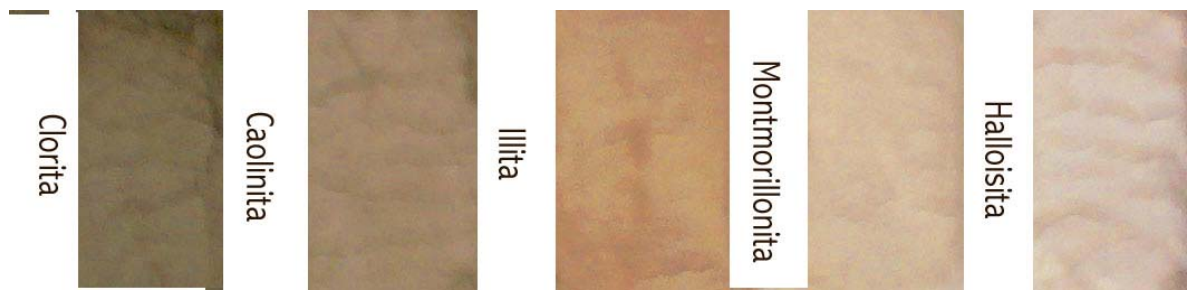


Ilustración 1 Definición del Color de las Arcillas Puras secas del Grupo I. De Izquierda a derecha, y de oscuro a clara aparecen la Clorita (gris), la Caolinita (marrón claro grisáceo), la Illita (marrón claro), La Montmorillonita (beige verdoso) y la Halloisita, casi de color Blanco.

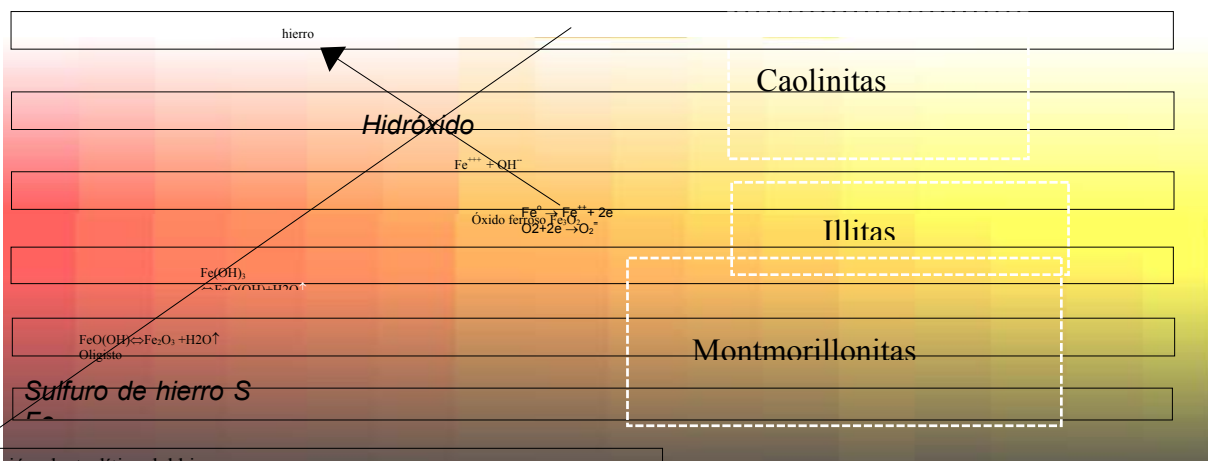


CAOLINITA.
 Ligeras erosiones o tubificaciones.
 Desprendimientos.
 Formaciones graníticas, basálticas, areniscas, con buen drenaje.
 Color gris claro o blancas, moteado o jaspeado, rojo, y naranja.
 Baja plasticidad, baja cohesión y no expansivo.
 Tamaño promedio $\cong 1\mu$

ILLITAS.
 Formaciones de lutitas y pizarras, alta salinidad.
 Agrietamiento intenso y profundo de 30 cm. o más, si son ricas en calcio espaciamento de 5 a 6 cms.
 Color café o café-rojizo, dispersiones amarillo-café a rojo-café.
 Tamaño $\cong 0.1\mu$

MONTMORILLONITA.
 Micro relieves superficiales, rugosos superficialmente si hay gran salinidad. En formaciones basálticas, con poco drenaje.
 Se dan en formaciones calizas, de lutitas y pizarras.
 Color gris oscuro y negras, y moteado o jaspeado en color amarillo, naranja y gris, dispersión en color amarillo-café a rojo-café.
 Tamaño promedio $\leq 0.01\mu$.
 Altamente expansiva, muy plástica, permeabilidad extremadamente baja.

MICA.
 Partículas pequeñas de alta refracción, blancas (moscovita) o negras (biotita). Sin cohesión, se meteoriza fácilmente, compactable.
 Tamaño $> 1\mu$



Corrosión electrofítica del hierro.
 Ataque por bacterias divirosulfúricas, de pozos y del yeso, reducción enzimática (eliminación del O_2) que produce sulfuro de hierro color negro vivo

Cloritas

Preparación de la muestra de Arcilla.

Obtención y recogida de muestras

Para la obtención de muestras se han adoptado criterios obtenidos de la Normativa descrita en el capítulo de los Antecedentes 6.3.5.3.3 Pág.255.

Por una parte se ha adoptado como cantidad óptima representativa de muestra **500grs** y que deberán pasar por el Tamiz 1 UNE o el ASTM N°18. Éstos representan la fracción granulométrica menor de 1mm. Esto está basado en lo especificado por la NLT 101, que también establece que 500grs de la muestra pasen por el Tamiz 2 UNE o el ASTM N°10, en el caso de tener un tamaño máximo del árido de 10mm, tal como se requiere para la ejecución de BTC de calidad vista.

Ésta cantidad cumple holgadamente los 200grs. establecidos en la [ASTM D2487](#) para clasificación de suelos.

En el caso de tener mayor cantidad se procederá a su cuarteo y homogeneización, dividiendo la muestra en cuatro, de las cuales separaremos y uniremos las dos opuestas.

Las muestras de arcillas puras provenientes de los EE.UU (ref.WARD's), la Montmorillonita, la Illita y la Halloisita, se recibieron en bolsas precintadas y perfectamente etiquetadas de 250grs, con una granulometría muy dispar, al estar estas arcillas compactadas de forma natural en terrones heterogéneos. Por el contrario la muestra de Caolinita, procedente de la Cañada de Verich, usada para la fabricación de cerámica refractaria, ya estaba disgregada y homogeneizada para su uso industrial.

Tan sólo, la Clorita fue la que se obtuvo directamente de su estado natural, de la Sierra de Collcerola (Barcelona). Para la extracción de la muestra se separó la parte más superficial de material meteorizado y entremezclado con restos orgánicos. La arcilla pura se encontró en capas muy compactas y estratificadas, en forma de lascas de un tamaño superior al establecido anteriormente. Para su preparación se cuarteó, y la fracción granulométrica mayor de 10mm se desmenuzó mediante pisón y mortero metálico. Acto seguido el material fue triturado en una machacadora de mandíbulas (foto inferior) hasta conseguir que toda la muestra pasara por el Tamiz 1 UNE o el ASTM N°18 (<1mm). Eso mismo se aplicó a todos los terrones arcillosos.



Selección del material para la elaboración de probetas.

Los procesos de aglomeración y estabilización en el material Tierra, se fundamentan principalmente en la actividad de las fracciones granulométricas más finas, las arcillas y en menor medida los limos. Por éste motivo todo el material utilizado en esta investigación se limita a estos grupos, por lo que debe pasar por el Tamiz 0.080 UNE o el ASTM n°200.



Para ello se ha molturado, durante 45 minutos todo el material pasante en el 1 UNE en un molino formado por un cilindro de acero de 18cms de diámetro, 15 cms. de altura, y 64 bolas cerámicas de 32.5 grs. de peso, a 48 revoluciones por minuto. Es necesario que las arcillas hayan sido secadas previamente, para que no se peguen a las bolas y a los cilindros del molino. Cómo ya se citaba en la crítica de los Antecedentes, el secado de las arcillas se efectuará mediante estufa a 60°C durante 24 horas, para que no se pierdan los picos característicos de deshidratación de los 80. -100°, del análisis ATD.



El material resultante se tamiza por el 0.080 UNE o el ASTM n°200 y se devuelve a la estufa a 60°C hasta su utilización en la ejecución de las probetas y para el análisis térmico diferencial ATD.

Procedimiento de obtención de las microprobetas

Para crear un procedimiento de trabajo práctico y manejable, se ha decidido trabajar con **microprobetas**¹⁰ de 20x20x14mm. Con ello no es necesario manejar grandes cantidades de tierra, ya que con sólo 500 grs. de muestra es suficiente para elaborar todos los ensayos descritos. No hay que obviar que en ciertos casos la obtención de muestra, antes de la ejecución de una obra o en una restauración, puede ser limitada, tal como ratifica mi experiencia. A éste factor cabe sumar, que para elaborar las probetas se deben utilizar las mismas condiciones de humedad y presión que en la fabricación real de BTC (bloque de tierra estabilizada.) Éstas condiciones oscilan entre un 12 y un 14% de humedad relativa, y una presión mínima homogénea de compresión de 20 Kp/cm². Sí las probetas fueran a escala real 1/1, la tensión que deberíamos alcanzar en la prensa de laboratorio y en los moldes de fabricación sería casi de 50Tn. Esto último se encuentra al límite de trabajo de gran número de dispositivos hidráulicos, y es muy dificultoso para construir moldes desmontables. Los cortantes excesivos sobre los espárragos del molde, la deformación de las paredes, la dificultad de encaje entre pistón y molde, y el exceso de peso y manejabilidad fueron comprobados experimentalmente por el autor, lo cual generó el procedimiento que se describe:

¹⁰ *Chemical analysis of hardened concretes and mortars with active additions. A new procedure for its identification. Aut. Gomà, F.G y Vicente M.D. Edit. Proceedings of the International Conference Creating with concrete and mortar. R.K Dhir y M.C.Limbachiya. sep.1999*

Codificación

La codificación de las diferentes series de probetas, se efectúa en función de la arcilla, la dosificación y el estabilizante empleado:

Ka. =	Caolinita	P =	Cemento Portland
Hall. =	Halloisita	CN =	Cemento Natural Collet de Mina
Ill =	Illita	Y =	Yeso. Sulfato de Calcio Dihidrato.
Mon =	Montmorillonita	14 =	14% en peso respecto la arcilla.
Cl =	Clorita		

Extrapolación de resultados.

Cómo parámetro básico para la elaboración de las microprobetas con arcillas puras se ha establecido que puedan ser comparadas con las obtenidas de tierras naturales. Para ello será indispensable que tengan granulometrías equiparables y estandarizadas, lo cual hace necesario incorporar una fracción inerte a la microprobeta de arcilla pura.

Granulometría empleada

Cabe tener en cuenta, como ya se ha dicho en los Antecedentes. Cap. 6.3.2.2, el criterio general granulométrico, adoptado para una tierra utilizada para construir, es de que tenga una proporción de arcillas entre el 15 y el 18%, aunque si elevamos el pasante granulométrico a 5 micras (fracción donde se encuentran las arcillas más fuertemente floculadas) nos encontramos entre el 21.1% y el 24%. Casi en la misma proporción aparecen los limos entre un 20-23%, tal cómo se muestra en el cuadro inferior. También se puede notar que los límites establecidos por la parábola continua de Fuller, para garantizar un índice menor de poros, es correcta para las fracciones gruesas, pero cuando lo aplicamos a limos y arcillas estamos lejos de los límites que hemos adoptado anteriormente.

RESUMEN PASANTES GRANULOMETRICOS										
Optimo CRA.Terre .MOPT ????										
100	98	82	71	60	52	44	28	24	18	
100	98	82	71	60	52	44	27	21,1	14,9	9,4
5,00	2,39	1,10	0,63	0,28	0,16	0,0700	0,0100	0,0046	0,0010	0,0001
Tamaños en mms.								5micra	1micra	<1m
5,00	2,50	1,25	0,63	0,32	0,16	0,0800	0,0100	0,0050	0,0010	0,0001
referencia curva de Fuller no sirve . ver pasantes inferiores										
100	70,71068	50	35,49648	25,29822	17,60682	12,64911	4,472136	3,162278	1,414214	0,447214

Así se establece que el índice ideal proporcional entre limos y arcillas es de 1/1.

Esto lo hemos querido comparar con el análisis granulométrico de varias tierras naturales.

Cómo es normal los resultados han sido bastante dispares, y el índice de proporcionalidad limos / arcillas ha ido desde 0.0091 y 0.4 hasta 20.3. Inclusive en tierras aparentemente iguales, la SC y R, como se describirán más tarde, oscila entre 0.8 y 20.3. A pesar de ello el 50% de las tierras mostradas tienen relaciones que se acercan a la relación 1/1, siendo el índice de 0.5 y 2.

Comprobación Sedimentométrica de las arcillas.

GRANULOMETRIA METODO PROPIO BASADO EN ASTM D-422 Y							
NLT-104/91/ NORMAS CEDAZOS UNE 7050/ASTM E 11-39							
en micras							
<100µ =1% max. en hormigón	arcillas		arcillas		arcillas		arcillas
<2µ max 0.1% en hormigón.							
P>10	%	P>5µ	%	P>1µ	%	P<1µ	%
P>10	%	P>5µ	%	P>1µ	%	P<1µ	
P>10	%	P>5µ	%	P>1µ	%	P<1µ	

Por otro lado para cerciorarnos que las arcillas molturadas y tamizadas que han pasado por el tamiz 0.080 UNE o el ASTM nº200, poseen el grano de finura correspondiente, elemento básico en su actividad aglomerante, realizamos el ensayo sedimentométrico.



Fig 2 sedimentometria hecha con probeta de 500 cm3, cronometrada para ver la velocidad de precipitación. Muestra LL

Sedimentometria visual. Se siguieron las Normas UNE 7-324-76 y ASTM 02419. Se disgregó una muestra de 100gr, para diluirla en una disolución de agua destilada con una proporción de 480 grs. Cl₂ Ca, 170 gr de Glicerina y 50 gr de Formaldehído al 40%, por cada 2l. Esta agua después de 10' de reposo se le añadió poco a poco un tubo irrigador de cobre en el fondo de la probeta. A los 20' se hacia una lectura, tras dos golpes al fondo para asentar las partículas más gruesas.

Al día siguiente, tras 24 horas de reposo, se hizo un agitado de 1/2' a 3 ciclos por segundo, de derecha a izquierda 20cm, y decantándose a los 3'. De esta forma se podían separar las fracciones finas de las gruesas, siendo succionadas las primeras por el tubo irrigador, secadas y

pesadas.

La base de la utilización de estos productos es para hacer un precipitado más rápido y una diferenciación más clara entre los diferentes niveles granulométricos. Pero ello genera una alteración de las arcillas juntamente con la pérdida de esta para posteriores análisis.

Por ello lo probamos con menor cantidad, 2.7 gr/l de Ca Cl₂, 12 gr/l de Glicerina y un cm³. de formaldehído. Pero continuaron alterándose las muestras, sobretodo la parte que más nos interesaba, las arcillas. Debemos pensar que la norma está pensada sobretodo para el análisis del nivel de arenas en hormigones.

Otro método más complejo y de alcance más limitado, es el rastreo electrónico que genera el "Metler", del departamento de Geología de la UB, utilizado para algunas de las sedimentometrías de la Tesis, que se verán en el Grupo II. La muestra también se deflocula, mediante hexametáfosfato sódico.

Método de Brockville modificado sin dispersante¹¹



Fig 2 Agitador mecánico. Laboratorio de Materiales

Finalmente se ha adoptado éste tipo de sedimentometria por su simplicidad, modificado apartir del uso agua desionizada como vehículo dispersante, para no alterar la muestra,

La Sedimentometría se efectuó sobre 50 gr¹² de arcilla pura, dispersada en 1000 cm³ de agua añadida tal com. dice la norma, gradualmente, y siempre a temperatura constante. Tras dejarla reposar de 12 a 15 horas, se agita 1' a 3ciclos/segundo manual o mecánicamente. (Ver Fig.2), y se empiezan a anotar tiempos, temperaturas (régimen aconsejable 20-25°) y lecturas de un sedimentómetro calibrado y corregido, se aconseja el modelo ASTM SOIL HYDROMETER 152H o el de Casagrande. La mejor manera de efectuar las lecturas con éste es desde arriba, y anotando la lectura por la parte superior del menisco. Por ello hace falta antes haber tomado lecturas en condiciones de laboratorio de presión y temperatura, para comprobar las correcciones a efectuar de

¹¹ A Laboratory Manual For Architectural Conservators. Aut. Jeanne Marie Teutonico. ICCROM Roma 1988
 "Manual de laboratoire", EAG.CRA Terre, 1992.

¹² En el Manual de laboratorio del CRA Terre usan para el mismo ensayo 20 gramos con una agitación mecánica de 3 minutos.

cada lectura. Si se aplica algún elemento dispersante, materiales con densidad real también se deberán efectuar las correcciones pertinentes.

La lectura inicial corresponde al nivel de arena fina, el resto son limos y arcillas. Las lecturas se van efectuando a 1', 2', 3', 4', 8', 16' (nivel donde generalmente empieza la fracción arcilla), 30', 60', 2h, 16h, 24h y finalmente a las 48 horas. Para comparar las temperaturas se dispone de una probeta secundaria, donde se deposita el termómetro y el hidrómetro entre lectura y lectura. En las dos primeras lecturas no se debe sacar el densímetro de la probeta, y posteriormente es aconsejable ponerlo 15 segundos antes.

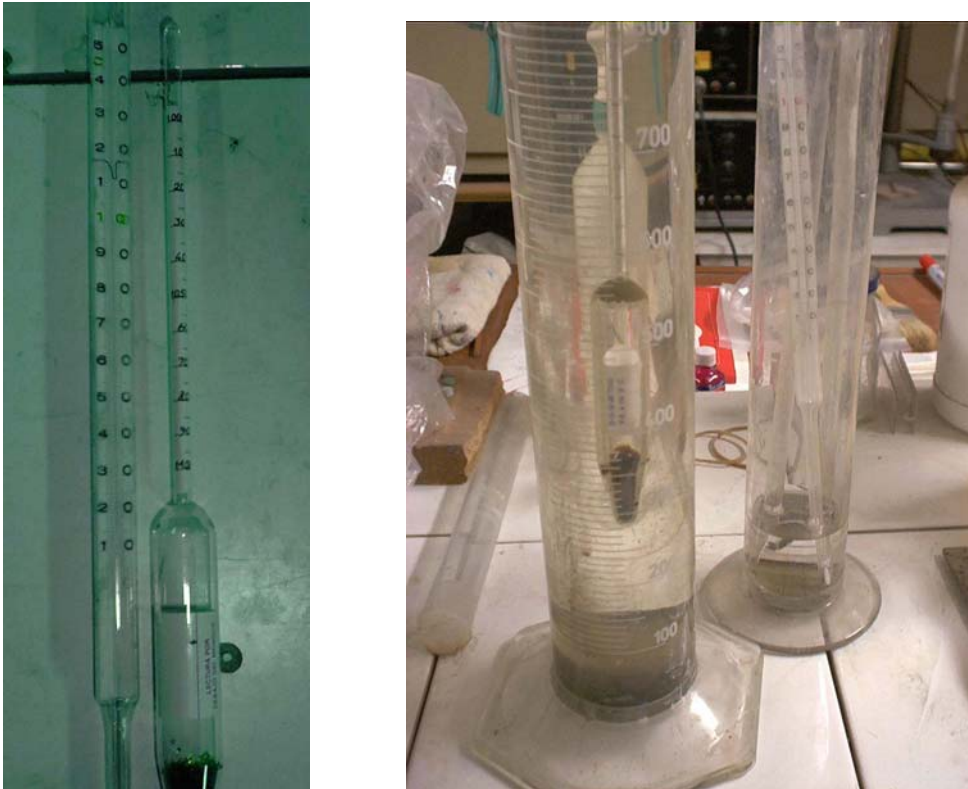
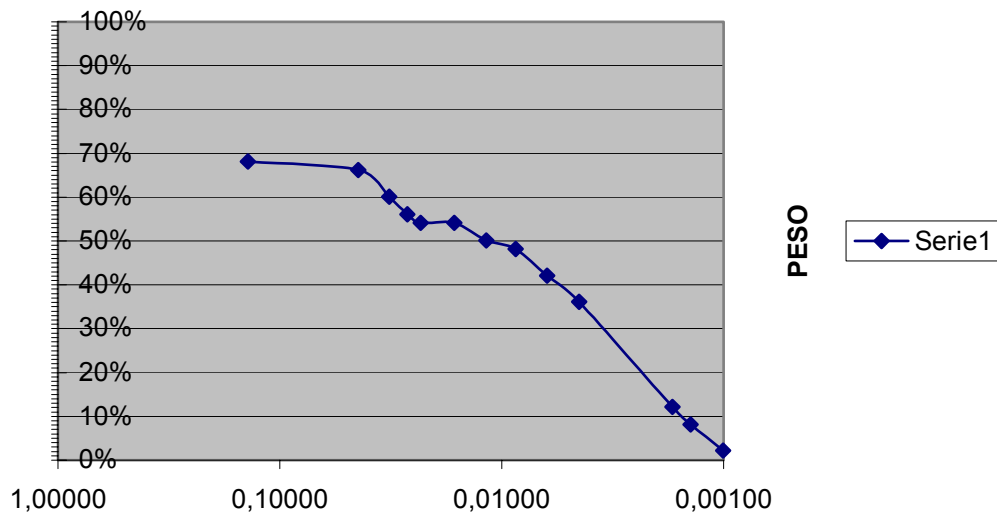


Fig. 1 Termómetro, densímetro y probetas utilizadas para el ensayo.

Posteriormente, tal como se muestran la gráfica sedimentométrica de Caolinita la Cañada de Verich, y aplicando la fórmula de Stokes $D = K\sqrt{L/t}$ (K y L se obtienen de las tablas adjuntas, t es tiempo en minutos), se calcula el tamaño y cantidad de fracción granulométrica sedimentada en cada instante.

SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.						SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.								
C. corrección menisco	-4													
Cm .corrección 0 según líquido	0					KA	Cañada de Verich							
Coef.corrector probeta 1000cl	1													
Densidad unitaria inaccesible.Peso especifico	2,60	2,60	restos pasantes por <70µ			agitado 30" a 3cl/s								
Coef. a densidad	1,01	20 golpes antes 1a. lectura 5 en las otras										10		
peso total finos	50	0,02												
Tiempos	0,1	1	2	3	4	8	16	30	60	120	960	1440	2880	resto
Temperatura (valor absoluto)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
Ct. corrección temperatura	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0
Ra. lectura sobre menisco	30,000	29,000	26,000	24,000	23,000	23,000	21,000	20,000	17,000	14,000	2,000	0,000	-3,000	0,000
Rc.Lectura corregida	34,07	33,07	30,07	28,07	27,07	27,07	25,07	24,07	21,07	18,07	6,07	4,07	1,07	0
retenido %sobre los finos	31,86%	2,00%	6,00%	4,00%	2,00%	0,00%	4,00%	2,00%	6,00%	6,00%	24,00%	4,00%	6,00%	0,00%
R.corregido menisco	34	33	30	28	27	27	25	24	21	18	6	4	1	4
L. de la tabla STOKES	10,67	10,83	11,33	11,67	11,83	11,83	12,17	12,33	12,83	13,33	15,33	15,67	16,10	
L/tiempo	106,6688	10,8335	5,6668	3,8889	2,9584	1,4792	0,7604	0,4111	0,2139	0,1111	0,0160	0,0109	0,0056	
coef. K.	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	
D.mm de la partícula	0,13922	0,04437	0,03209	0,02658	0,02319	0,01639	0,01175	0,00864	0,00623	0,00449	0,00170	0,00141	0,00101	
Pasantes %	68%	66%	60%	56%	54%	54%	50%	48%	42%	36%	12%	8%	2%	
peso partículas	15,93	1,00	3,00	2,00	1,00	0,00	2,00	1,00	3,00	3,00	12,00	2,00	3,00	1,07
peso total finos	50													

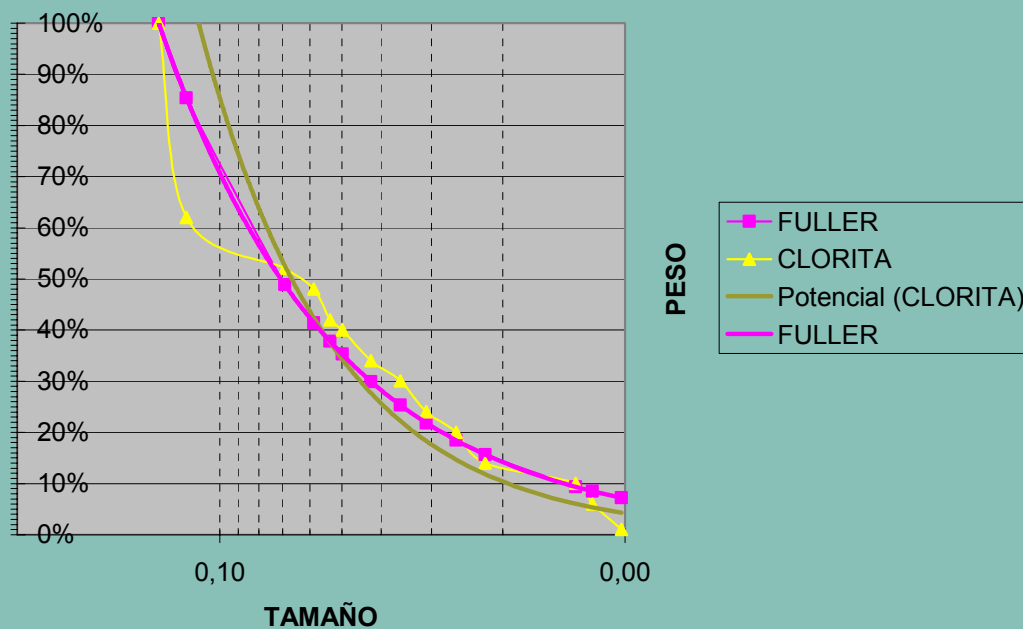
GRANULOMETRIA KA



	SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.					SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.					
C. corrección menisco		-4									
Cm .corrección 0 según líquido		0					CLORITA				
Coef.corrector probeta 1000cl		1									
Densidad unitaria inaccesible.Peso específico		2,60	2,60	restos pasantes por <70µ			agitado 30" a 3cl/s				
Coef. a densidad		1,01	20 golpes antes 1a. lectura 5 en las otras								
peso total finos		50	0,02								
Tiempos		0,1	1	2	3	4	8	16	30	60	120
Temperatura (valor absoluto)		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Ct. corrección temperatura		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ra. lectura sobre menisco		27,000	22,000	20,000	17,000	16,000	13,000	11,000	8,000	6,000	3,000
Rc.Lectura corregida		31,02	26,02	24,02	21,02	20,02	17,02	15,02	12,02	10,02	7,02
retenido %sobre los finos		37,96%	10,00%	4,00%	6,00%	2,00%	6,00%	4,00%	6,00%	4,00%	6,00%
R.corregido menisco		31	26	24	21	20	17	15	12	10	7
L. de la tabla STOKES		11,17	12,00	12,33	12,83	13,00	13,50	13,83	14,33	14,67	15,17
L/tiempo		111,6686	12,0002	6,1667	4,2778	3,2500	1,6875	0,8646	0,4778	0,2444	0,1264
coef. K.		0,01380	0,01380	0,01380	0,01380	0,01380	0,01380	0,01380	0,01380	0,01380	0,01380
D.mm de la partícula	0,20	0,14583	0,04780	0,03427	0,02854	0,02488	0,01793	0,01283	0,00954	0,00682	0,00491
Pasantes %	100%	62%	52%	48%	42%	40%	34%	30%	24%	20%	14%
peso particulas		18,98	5,00	2,00	3,00	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	3,00
COMPARATIVO Fuller	0%	15%	51%	59%	62%	65%	70%	75%	78%	82%	84%
	100%	85%	49%	41%	38%	35%	30%	25%	22%	18%	16%

-7%

GRANULOMETRIA CLORITA



Compensación Granulométrica de las arcillas.

Los primeros ensayos se utilizaron únicamente arcilla pura para la elaboración de las microprobetas. Ello conllevó graves problemas de laminación y microfisuración, con una obtención muy baja de resistencias, tal como puede leerse en la gráfica inferior.

Caolinita Cañada de Verich													
Ka14P1	o	25-7-2000		2,02	1,95	1,95				45	11,83 Kp/cm ²		
Ka14P2	oo	Mostres laminades estufa 25-7-2000		2,08	1,94	1,97				58,125	15,21 Kp/cm ²		
Ka14P3	ooo	25-7-2000	14,55	1,95	1,98	1,95	1,9325404						
Ka14P4	oooo	25-7-2000		2,05	2,02	2,03							
Ka14CN7Y	o	25-7-2000	12,8838										
Ka14CN7Y	oo	Coqueres laminació 25-7-2000	11,6998	2,04	2,06	2,07	1,3449641			31,32	7,34 Kp/cm ²	8-8-2000	
Ka14CN7Y	ooo	25-7-2000	10,5457	2,07	2	2,1	1,212986			25,125	5,98 Kp/cm ²	8-8-2000	
	oooo	25-7-2000											
Clorita Collserola													
CL14P	o	3-8-2000	9,9636	2,02	2,04	1,99	1,2150151	9,7332	2,37%	1,1869183	0	0,00 Kp/cm ²	8-8-2000
CL14P 2a	oo	3-8-2000	9,8378	1,99	1,98	1,99	1,2546617				10,875	2,76 Kp/cm ²	8-8-2000
CL14P 2b	ooo	3-8-2000	9,8434	2,38	2,04	1,26	1,6090423						
CL14P 2c	ooo	3-8-2000	11,6422	2,03	2,05	2,02	1,384949				25,875	6,25 Kp/cm ²	8-8-2000
CL14P	oooo	3-8-2000	11,2415	2,03	2,03	2,04	1,3372174				26,25	6,34 Kp/cm ²	8-8-2000
CL14P	oooo	3-8-2000	11,9848	2,03	2,05	2,08	1,3980209				40,125	9,50 Kp/cm ²	8-8-2000
CL14P	oooo	3-8-2000	14,4699	1,72	2,17	2,03	1,9097711	14,1346	2,32%	1,8655171	133,125	30,22 Kp/cm ²	8-8-2000

A partir del punto anterior y de los pobres resultados en resistencia a compresión obtenidos, se estableció que la dosificación de las microprobetas con arcillas puras se efectuara con un 50% de arena estandarizada, según la tabla siguiente dentro de la fracción granulométrica de los limos.

La arena utilizada se suministra desde el IET. Instituto Eduardo Torroja, y se trata de una arena silíceo inerte estandarizada, utilizada para los ensayos RILEM, lo cual asegura que no libere sílice o cationes, y así no interfiera en los análisis químicos y en los procesos de aglomeración.

Se comprobaron varios tiempos de molienda y las curvas sedimentométricas respectivas. El proceso de molienda fue el mismo que el que se utilizó para las arcillas, únicamente se incrementó finalmente a una hora. En la gráfica siguiente se puede ver la sedimentometría final y el estudio comparativo respecto a la curva de Fuller.

SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.						SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.										
C. corrección menisco		-4														
Cm .corrección 0 según líquido		0				ARENA NORMALIZADA										
Coef. corrector probeta 1000cl		1														
densidad unitaria inaccesible.Peso específico		2,60	2,60	restos pasantes por <70µ			agitado 30" a 3cl/s									
Coef. a densidad		1,01	20 golpes antes 1a. lectura 5 en las otras										10			
peso total finos		50	0,02													
Tiempos		0,1	1	2	3	4	8	16	30	60	120	960	1440	2880	resto	
Temperatura (valor absoluto)		23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23		
Ct. corrección temperatura		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0	
Ra. lectura sobre menisco		14,000	12,000	10,000	8,000	5,500	1,000	-1,000	-1,500	-2,000	-2,500	-3,000	-3,500	-4,000	0,000	
Rc.Lectura corregida		18,07	16,07	14,07	12,07	9,57	5,07	3,07	2,57	2,07	1,57	1,07	0,57	0,07	0	
retenido %sobre los finos		63,86%	4,00%	4,00%	4,00%	5,00%	9,00%	4,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	0,00%	
R.corregido menisco		18	16	14	12	9,5	5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	4	
L. de la tabla STOKES		13,33	13,67	14,00	14,33	14,83	15,50	15,83	16,00	16,00	16,10	16,10	16,30	16,30		
L/tiempo		133,3344	13,6668	7,0000	4,7778	3,7083	1,9375	0,9896	0,5333	0,2667	0,1342	0,0168	0,0113	0,0057		
coef. K.		0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348	0,01348		
D.mm de la partícula	0,20	0,15565	0,04983	0,03566	0,02946	0,02596	0,01876	0,01341	0,00984	0,00696	0,00494	0,00175	0,00143	0,00101		
Pasantes %	100%	36%	32%	28%	24%	19%	10%	6%	5%	4%	3%	2%	1%	0%		
peso particulas		31,93	2,00	2,00	2,00	2,50	4,50	2,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,07	
COMPARATIVO Fuller	0%	12%	50%	58%	62%	64%	69%	74%	78%	81%	84%	91%	92%	93%		
	100%	81%	43%	35%	31%	29%	24%	19%	15%	12%	9%	2%	1%	0%		
	7%															

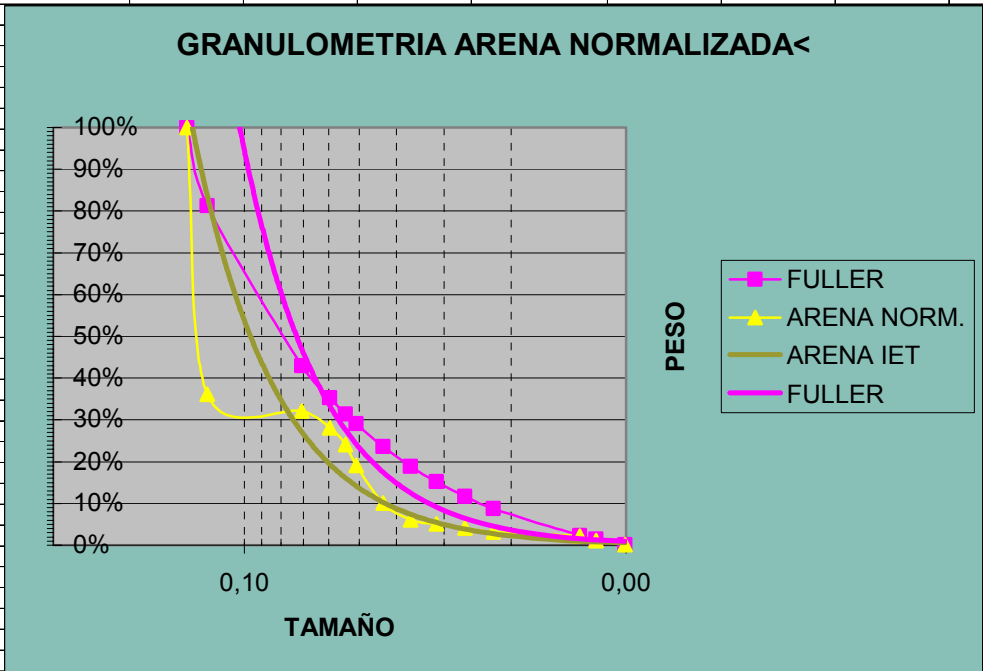


Tabla 1 Estandarización arena sílicea

Proceso de dosificación.

La dosificación se efectúa en estado seco ya que en el proceso es fundamental conocer con exactitud la cantidad de agua empleada. Para ello es imprescindible mantener en un estado seco constante a todos los componentes. No hay que olvidar que las arcillas puras captan fácilmente la humedad ambiental. Para ello se mantienen las muestras en la estufa a temperatura constante a 60°, o bien en recipientes estancos.

Los estabilizantes se han dosificado a partir de la información de los Antecedentes y para obtener una serie aritmética de fácil manejo: 7% para el yeso, respecto al peso de arena y arcilla, -14% para los cementos, y -28% para las adiciones activas estabilizantes con efecto puzolánico.

9,3%	Caolinita Cañad
9,7%	Ka NaOH-
9,9%	Ka14P
7,7%	Ka14CN7y
9,7%	CL . Clorita
6,6%	CL NaOh-
5,8%	CL14P
	CL14P
3,2%	CL14CN7Y'
8,1%	ILL.Illita
8,6%	ILL NaOh-
10,1%	ILL14P
	ILL14P
6,7%	ILL14CN7Y
19,3%	HALL.Halloisita
22,8%	HALL NaOh-
24,5%	HALL14P
13,1%	HALL14CN7Y
12,9%	Mon.Montmoril
14,6%	MON NaOh-
13,2%	MON14P
13,1%	MON14CN7Y

La dosificación del agua tiene una gran importancia para la obtención de un material compacto y con una densidad óptima. Para ello se ha desarrollado una metodología adaptada al sistema de microprobetas, siguiendo las directrices expuestas en la crítica de los Antecedentes, y adoptando los criterios de las Normas del capítulo 1.2.5.3.4. y del 1.2.5.5. Ensayos referentes al suelo-cemento, cómo la ASTM D4609 con el Método de Microcompactación de Harvard. Cabe citar de nuevo que el óptimo de agua está en función del tipo de arcilla y estabilizante.

La metodología de optimización de la humedad de la mezcla se basa en elaborar una serie inicial de microprobetas con una variabilidad de agua del 5-6% respecto al óptimo ([ASTM D 558-96.](#)) Este punto intermedio lo fijaremos en el grado de humedad que tenga la mezcla si tiene cohesión suficiente tras ser apretada con la mano y romperse sólo en cinco trozos al dejarla caer desde cuarenta centímetros.

Observando los resultados obtenidos en la tabla de la izquierda, comprobamos la gran variabilidad que muestran las arcillas entre ellas y también según el tipo de estabilización que se emplee. Los resultados se corresponden directamente al tipo de estructuras cristalográficas de cada arcilla, así las Halloisitas son las más habidas, debido a su estructura tubular, seguidas de las Montmorillonitas, con una estructura laminar en capas.

En la tabla adjunta se muestran las dosificaciones en gramos utilizadas para la ejecución de las series de 5 o 6 microprobetas por cada mezcla de arcilla estabilizada diferente.

Las pesadas se han realizado en balanza electrónica con precisión de ± 0.0001 grs, aunque habría bastado con una exactitud de centésima de gramo. El elemento que requiere mayor precisión es la sosa cáustica, para evitar patologías o alteraciones en el análisis químico.

Descripción muestra	arcilla	arena	cal	%	cemento gr.	%	aigua a.	aigua a.	relación	Fecha
			o yeso				relación %	a/c	a/c+<80 μ	Fabric.
					P-450Molins				respecto a todo	
					CN.natural collet				1,5% en peso de NaOH	
					ESTABILIZACION.DOSIFICACION					
								en peso		
L	%	%	grs	%	grs	%	a.	a:	a/c+<80 μ	
Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	25	25			7	7	12,7%			21-sep
Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0							8,8%			21-sep
Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0							8,7%			25-jul
Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0							14,0%			14-oct
Caolinita con Portland							9,9%			05-sep
Caolinita con Yeso y C.Natural							7,7%			09-nov
Clorita Colcerola.Barcelona	25	25	3,5		7+3,5	7	11,6%	7		26-sep
Microprobeta 50%Clorita PF=0	25	25	3,5		7+3,5	7	9,7%	7		26-sep
Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa	25	25	3,5		7+3,5	7	6,6%	7		26-sep
Microprobeta 50%Clorita con 14% C.portland							5,8%			26-sep
Microprobeta 100% Clorita con 14% C.portland PF=0										02-sep
Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso	25	25	3,5		8,4+4,2	7	3,2%			01-sep
Microprobeta 50% Illita EE.UU	25	25			7	7	8,1%	5,5		01-oct
Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa	25	25			7	7	8,6%	5,5		01-sep
Microprobeta 50% illita con 14% c.portland										02-sep
Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso	25	25	3,5		7+3,5	7	6,7%	7		02-oct
Microprobeta 50% Halloisita pura Indiana. EE.UU	25	25	3,5		7+3,5	7	19,3%	7		09-sep
Microprobeta 50% Halloisita pura con 1,5% sosa	25	25	3,5		7+3,5	7	22,8%	7		16-sep
Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.portland	25	25	3,5		7+3,5	7	24,5%	7		16-sep
Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.natural y 7% yeso	25	25	3,5		7+3,5	7	13,1%	7		16-sep
Microprobeta 50% Mon.Montmorillonita EE.UU	25	25			7	7	12,9%			11-sep
Microprobeta 50% Montmorillonita con 1,5% sosa							14,6%			11-sep
Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland	25	25	0,75 grms sosa		7		13,2%	9		18-sep
Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso	25	25	3,5		7	7	13,1%			18-sep

Preparación del molde

Antes del mezclado de los componentes, se procede al montaje del molde metálico para las microprobetas de 2x2x2 cms. Así estará listo para ser rellenado, y evitar, que en el tiempo de manipulación, la mezcla se deseque o fragüe.



El molde es de acero, con las caras perfectamente rectificadas. Éste debe garantizar una perfecta hermeticidad lateral ante la presión a que será sometido. Para esto se puede optar por un molde macizo o desmontable, lo cual asegura un mejor desmolde. A éste se debe ajustar un pistón cúbico de compresión metálico de dimensiones 2x2x2 cms.

En cada operación con el molde deberá ser pintado con aceite desencofrante, para conseguir un mejor desentoldado y así evitar la adherencia de la masa arcillosa.

Mezclado de los componentes

Tras pesar por separado cada arcilla, la arena estandarizada, y los estabilizantes, se mezclan en seco, a peso constante y en condiciones de laboratorio, en un recipiente de plástico, inalterable a la acción de la sosa. Ésta, para que actúe de forma homogénea, se mezcla con el agua desionizada justa y previamente determinada, a temperatura ambiente de 20°C.

Se ha observado que la adición del agua, con o sin sosa, por aspersión o pulverización produce mayores errores en la dosificación que la adición directa adoptada. Parte del agua se evaporaba rápidamente o quedaba perdida en las paredes del recipiente de mezcla. Se optó por añadirla mediante probeta graduada al fondo del recipiente, directamente sobre los componentes, evitando que se fuera al fondo o las paredes y generara que la arcilla se pegara o formara grumos.

Homogeneización de la mezcla.

La efectividad del proceso de ejecución de microprobetas, está en minimizar la desviación estándar entre probetas y su reproductividad a escala real. Por ello la homogeneidad de la mezcla debe ser total.

Tras la adición de agua se debe mezclar los componentes con espátula, hasta deshacer por completo los grumos que se formen, durante tres minutos. Según la naturaleza de la arcilla, esto comporta un mezclado entre uno y dos minutos. Se comprueba que no quede material pegado al recipiente.

Llenado del molde

Se llena el molde manualmente, evitando focos de evaporación con corrientes de aire o fuentes de calor próximas. La operación se hace en tres tongadas, presionando cada vez con fuerza con el dedo pulgar, enrasándolo finalmente con un cuchillo. Al contener sosa algunas mezclas, la manipulación deberá ser hecha con guantes de látex.

Conseguido el enmoldado se coloca el cubo-pistón de acero de 2x2x2, y se golpea un par de veces con un martillo para que penetre en el molde un milímetro escaso.

Tras tener rellena la serie de 5 microprobetas, se inicia el proceso de compactación, mediante una prensa manual con anillo dinamométrico. Esto reproduce a escala, la ejecución de BTC, por lo cual el tiempo empleado en alcanzar la presión adoptada de 20Kp/cm² sobre la mezcla no deberá superar los dos segundos. Con ello el pistón entra dentro del molde y comprime la mezcla. En el caso de que el grado de humedad esté por encima del óptimo, la mezcla fluye por las ranuras de ajuste, y la compactación se hace a expensas de perder mucha muestra y altura de la microprobeta.

Cómo resultado óptimo la altura alcanzada final de la probeta estará entre los 13 y 14 mm, lo cual reproduce con mayor realidad las proporciones de un BTC real, que no una probeta con relación anchura / altura A/H 1/1. Es importante verificar las alturas, ya que hemos comprobado que son inversamente proporcionales a la resistencia a compresión. La operación de extracción de la microprobeta del molde se realiza con sumo cuidado con esfuerzos tangenciales a las paredes, evitando posibles adherencias que pueden romper aristas o crear desconchados.

Las microprobetas son pesadas con balanza electrónica, con precisión ± 0.01 , rotuladas con los códigos y se anota la fecha de fabricación.

Curado de la microprobeta.

Posteriormente las microprobetas, para su curado, se colocan de lado en el interior de una cápsula hermética, sobre una lámina plástica que a su vez está sobre un fondo con agua ionizada. Esto se efectúa de esta manera para evitar problemas de ascensión capilar y expansividad de las arcillas al entra en contacto directo con el agua del curado, tal como se pudo experimentar.

Tras tener toda la serie de 5 microprobetas encapsuladas, se coloca dentro del agua climatizada por una resistencia-agitador, durante 4 horas a 60°C. Éste sistema de aceleración de curado aparece en métodos ya descritos anteriormente ^{10 13}.

¹³ *Preparación de la muestra de barro. Plasticidad normalizada. Ensayo de retracción y resistencia a la compresión, DIN 18952. ASTM D 421-58 "Standard Method for dry preparation of soil sampler for particle size analysis and determination of soil constants". Ver capítulo 1.2.5.3.3. Fabricación de Probetas y consistencia de la mezcla:*

Terminado este periodo de curado, se extraen de la cápsula y se dejan 48 horas secar al aire en condiciones de 20°C / 60% HR, al margen corrientes de aire y/o fuentes de calor, para evitar los efectos de la microfisuración. Las microprobetas ya están preparadas para efectuar los siguientes ensayos.

ATD/ATG TERMOGRAVIMETRIA

Los dos métodos por excelencia para determinar las estructuras moleculares se basan en el análisis cristalográfico por Difracción de Rayos X XRD y Análisis Térmico Diferencial ATD.

El primero de los dos no será utilizado en nuestro método debido esencialmente a:

- Complejidad en la preparación de la muestra, debido a un sistema de sedimentación, precipitado y orientación diferente para cada tipología de arcilla.
- Dificultad en la interpretación y cuantificación de los resultados. Cantidades menores al 10% no son detectables.
- Solamente determina las fases cristalinas y no las amorfas, muy abundantes en las tierras estabilizadas¹⁴, o también hay dificultades para identificar las estructuras de las Illitas.

El análisis termogravimétrico (ATG) registra los cambios de masa de un material concreto, en fase sólida, amorfa o cristalina, en función de la temperatura y contrastado con un material inerte: $m(T,t)$

La medida se obtiene midiendo de forma continua masa m , y Temperatura T en °C de la muestra, calentada a velocidad constante (en la Tesis se adoptan 20°/min). En experiencias isotermas, se analiza la variación de la masa a lo largo del tiempo. $\Delta m(T,t)$
El sistema se basa en las señales emitidas por un termopar, que diferencia las temperaturas en función de una muestra patrón de aluminio.



Fig. 2 Equipo ATD

¹⁴ Se comprobó con un DRX de las tierras tipo C8P estabilizadas con cemento portland. Gentileza DRX Ciments Molins

Como resultado se obtiene una gráfica continua, que refleja una serie de picos indicadores de los cambios físico-químicos y de la pérdida de calor y masa que ha experimentado el material con el incremento de temperatura.

Ello permite obtener una identificación de los componentes de una tierra, de forma más sencilla que en la Difracción de RX. Al mismo tiempo la interpretación de resultados está más cercana a los técnicos de la construcción, y aunque deba ser analizada por un especialista, continua siendo de fácil lectura y uso.

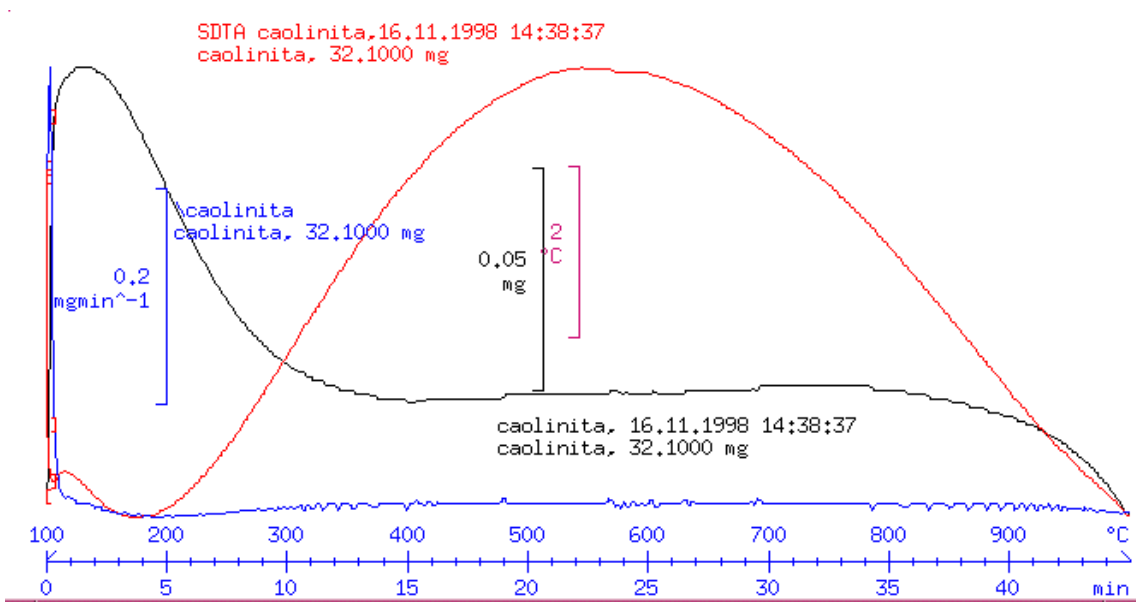
Hace falta trabajar con dispositivos de balanza de gran precisión, siendo las habituales en el orden de $\pm 0.1 \mu\text{g}$. La tecnología desarrollada y adaptada a esta técnica permite la realización de medidas de gran exactitud. Incluso se puede afirmar que las medidas son cuantificables con el aparato que se ha utilizado para la Tesis del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Girona, comprobación efectuada con muestras conocidas.

Parámetros que afectan a la medida termogravimétrica

Masa	Temperatura
Estabilidad	Velocidad calentamiento / enfriamiento
Turbulencias atmósfera	Conductividad térmica (disipación calor)
Condensaciones y otras reacciones	Entalpía del proceso
Fuerzas electrostáticas y magnéticas	Geometría de: muestra-horno-sensor
Derivas electrónicas	Derivas electrónicas

Ante esto el ATD es mucho más versátil ya que en un mismo gráfico, sin preparaciones especiales, muestra todos los posibles picos de las arcillas, de los carbonatos, sulfatos y de otras sustancias presentes. Además, con la actual tecnología permite integrar fácilmente los picos endotérmicos y exotérmicos de las curvas, cuantificando con precisión los respectivos contenidos de materiales constituyentes de las tierras. Esta labor la ha realizado el mismo autor de la Tesis, lo cual representa estar al alcance de conocimientos con especialización físico-química en el tema.

Para calibrar y tomar como curva comparativa patrón se ha efectuado un ATD/ATG de una caolinita calcinada inerte. Obsérvese la curva continua del ATD, esta parábola está en función de una velocidad de incremento de temperatura de $25^\circ\text{C}/\text{minuto}$.



Análisis ATD básicos de referencia.

En los diagramas representados se muestran las curvas tipos adoptadas por la mayoría de las bibliografías especialistas¹⁵ en este método de análisis físico. La superior corresponde al Cemento Pórtland. Los cementos naturales muestran picos entre los 680° y los 700°.

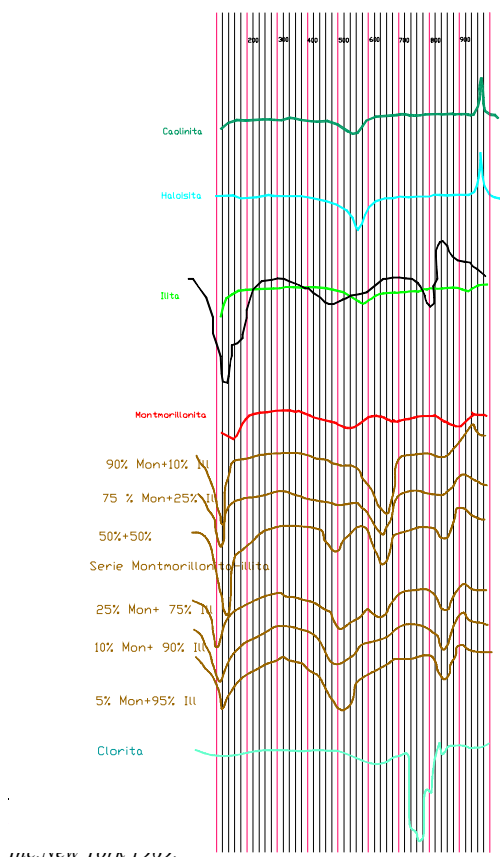
Las **Caolinitas** se caracterizan por tener un pico endotérmico alrededor de los 590°C, juntamente con uno exotérmico muy pronunciado en los 980°. Éste no debe confundirse con el Cuarzo, que tiene su doble pico a los 573°, al producirse la transformación ((. Por ello hay que verificar el contenido de Caolinita, a partir de la proporcionalidad entre sus picos.

En las **Halloisitas** y la Metahalloisita el pico endotérmico se mantiene por debajo los 580°, apareciendo uno nuevo de deshidratación en los 240°. En otras especies de Kanditas o grupo del Caolín, como en la Dickita y la Nacrita el pico endotérmico se desplaza hacia los 680°, aunque se mantiene el exotérmico con menor fuerza.

En el grupo de las esmectitas dioctaédricas los picos se caracterizan por la destrucción de los grupos hidroxilos. La **Montmorillonita** da un pico endotérmico de dehidroxilación en la región de los 700° (610°-620°-660°-600°) y otro muy variable en los 900°(800°-840°-880°-870°) seguido de inmediato por uno exotérmico, relacionado directamente con la presencia de Mg²⁺.

Éste incremento de los picos, por la presencia de cationes, en arcillas con alta capacidad de intercambio catiónico como la montmorillonita o la **Vermiculita** (100-150 m.e.q¹ ver. Graf.adjunto), se ha comprobado que es directamente proporcional al potencial

catiónico. Así la temperatura del pico de cambio crece en orden a la serie de Hofmeister⁷ : Na⁺>Ba²⁺>Li⁺>Sr²⁺>Ca²⁺>Mg²⁺.



En la beidellita el primer pico endotérmico desciende a los 550° y de forma menos pronunciada aparece algunas veces otro endotérmico en la región de los 700°-850°, más el exotérmico de los 900°. La Nontronita y la Volkhonskoita, dan curvas parecidas a la anterior en los 500°, siendo más variable en la zona de altas temperaturas.

Del grupo de las esmectitas trioctaédricas, la Saponita, tiene picos

endotérmicos a los 179° 240° 634° y 904°, no apareciendo pico exotérmico. En la Hectorita el primer endotérmico no es doble como en el anterior, sólo tiene uno en la región de los 180°. En los 680° y 780° seguidos de un exotérmico a los 900° muy intenso, termina con uno doble exo-endo a los 1110°.

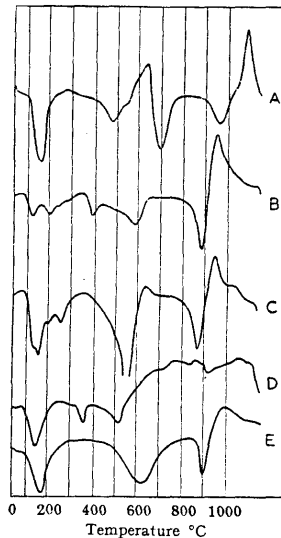


FIG. VIII. 3. Differential thermal curves for: *A*—montmorillonite, Camp Bertaux, Morocco; *B* and *C*—two pseudo-chlorites prepared from Camp Bertaux montmorillonite; *D*—natural pseudo-chlorite, Angevillers, Lorraine, France; *E*—natural (impure) pseudo-chlorite from Keuper Marl.

En muchas ocasiones, en la naturaleza se dan mezclas naturales de arcillas, lo cual puede dificultar la lectura del ATD. Grim en 1947 dedujo que las mezclas reducían las reacciones térmicas. Para ello se siguen algunos procedimientos como la saturación con piperidina, que es absorbida por las arcillas de mayor m.e.q, lo cual queda reflejado por el incremento de picos exotérmicos. En otros casos se ha empleado etil-glicol e hidróxido sódico.

Para eliminar la materia orgánica que interfiere, por la pirólisis oxidante y su volatilización, se puede efectuar previamente un tratamiento con peróxido de hidrógeno.

Para la diferenciación de la Goetita FeOH, que enrojece la tierra, respecto a la Caolinita se debe observar el pico de los 370°, cerca está el carbonato férrico en los 350°. El Carbonato cálcico (las Bateritas) está en los 820°, otros carbonatos en los 875° y el hidróxido cálcico en los 460°. Su presencia masiva se puede eliminar por digestión con ClH 1/1. La dolomía, el Carbonato Magnésico (pico 400°C) se elimina con digestión ácida de 4Horas al 25% de ClH

La cuantificación de las arcillas en mezclas Caolinita-esmectitas es proporcional a las áreas de los picos endotérmicos entre los 500°-700°. Los más bajos corresponden generalmente a la Montmorillonita. Lo mismo ocurre con la Illita-montmorillonita (ver Fig), donde la medida del segundo pico endotérmico es el determinante.

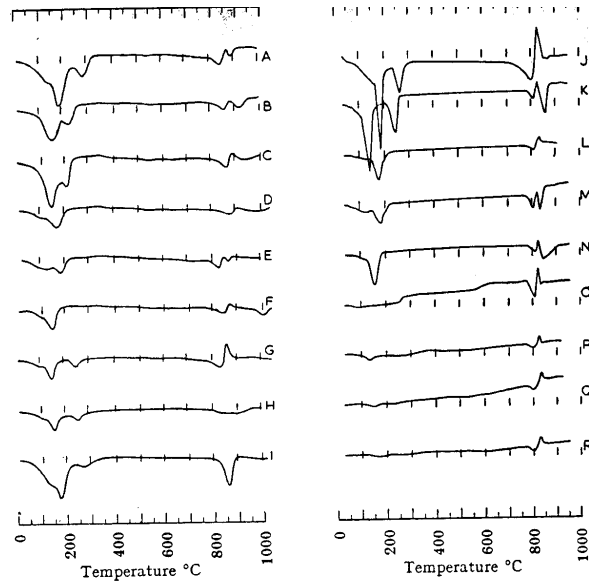


FIG. VII. 4. Differential thermal curves. (R.H.—relative humidity; s.p.—sandwich-packed.) A-F—West Chester vermiculite saturated with various cations and equilibrated at 65 per cent R.H. before determination (A—Mg-saturated, 1.0 g; B—Ca-saturated, 0.8 g; C—Sr-saturated, 0.7 g, s.p.; D—Ba-saturated, 0.4 g, s.p.; E—Li-saturated, 0.35 g, s.p.; F—Na-saturated, 0.35 g, s.p.); G—Macon County vermiculite at 65 per cent R.H., Mg-saturated, 0.21 g, s.p.; H—batavite at 65 per cent R.H., Mg-saturated, 0.35 g, s.p.; I—Krugersdorp saponite at 65 per cent R.H., Mg-saturated, 0.8 g; J-R—Macon County vermiculite (after Barshad 1948) (J—Mg-saturated; K—Ca-saturated; L—Ba-saturated; M—Li-saturated; N—Na-saturated; O—NH₄-saturated; P—K-saturated; Q—Rb-saturated; R—Cs-saturated).

Las **illitas** se caracterizan por presentar un pico endotérmico en la franja de los 500° (520°-480°-510°), y un pico doble endo-exo en la zona de los 900° (890-930°/ 85°0-910°)

Las **cloritas** se caracterizan por unos tres picos endotérmicos muy pronunciados en la zona de 750°-850°, aunque se pueden presentar desde los 500°, y uno exotérmico en los 850°, aunque varía notablemente cuando se encuentra combinada con la montmorillonita (ver graf. Inferior).

Otras series cristalográficas de minerales arcillosos analizables por ATD presentan las siguientes gráficas ⁷:

Es destacable considerar los siguientes intercambios catiónicos en M.e.q: Talco <2; Pirofilita <1-5, y La Sepiolita y la Atalpigita 20-30 ¹.

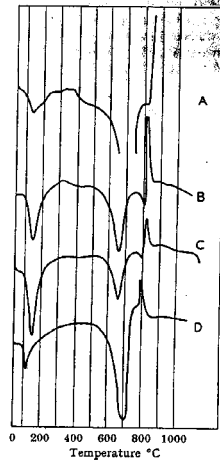


FIG. VIII. 7. Differential thermal curves for serpentines from Ambindavato, Madagascar, showing the effect of grinding and weathering: A—weathered rock, ground to give particles $< 2 \mu$ e.s.d.; B—fresh rock, ground to give particles $< 2 \mu$ e.s.d.; C—fresh rock, ~ 60 -mesh; D—weathered rock, ~ 60 -mesh.

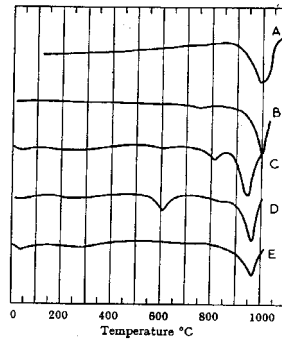


FIG. VI. 2. Differential thermal curves for talc samples from: A—Vermont, U.S.A.; B—Tijola, Spain; C—Darius, Spain (contaminated with dolomite); D—Masanet, Spain (contaminated with chlorite and/or magnetite); E—same locality, after treatment with 3 N HCl for 4 hours. (Curve A after Grim and Rowland 1942; Curves B, C, D and E after Alexandre and Alvarez Estrada 1952.)

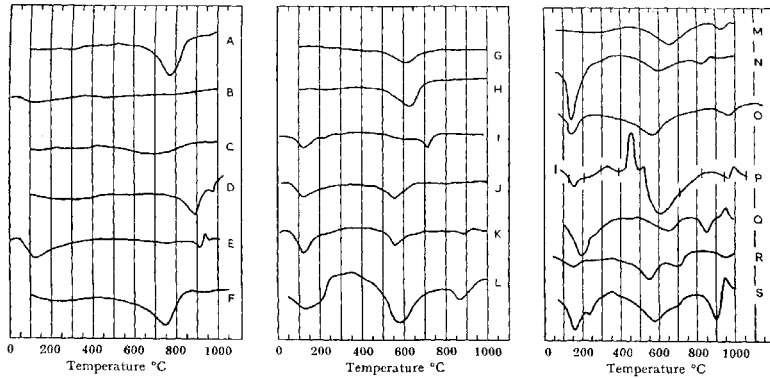


FIG. VI. 1. Differential thermal curves for some micaceous minerals (some curves redrawn to the same horizontal scale to facilitate comparison): A—pyrophyllite, North Carolina, U.S.A.; B—muscovite, Goshen, Massachusetts, U.S.A., ground for 2 hours; C—"sericite", Kamiawashiro, Japan, ca. 20μ e.s.d.; D—muscovite, large crystal; E—muscovite, Goshen, Massachusetts, U.S.A., ground for 24 hours; F—muscovite, Bryman, California, U.S.A., $< 1 \mu$ e.s.d.; G—"sericite", Kamikita, Tateishi, Japan, ca. 5μ e.s.d.; H—"sericite", Ashio, Saisei, Japan, ca. $1-3 \mu$ e.s.d.; I—illite, Ballater, Aberdeenshire, Scotland, $< 1.4 \mu$ e.s.d.; J—illite, South Wales; K—illite, Fithian, Illinois, U.S.A.; L—illite, Gilead, Illinois, U.S.A.; M—glauconite, Washington, U.S.A.; N—Japanese variety of celadonite; O—glauconite, New Jersey, U.S.A.; P—celadonite, Verona, Italy; Q—metabentonite, High Bridge, Kentucky, U.S.A.; R—sáropatakite, Sáropatak, Hungary; S—bravaisite, Noyant Allier, France. (Curves A, P, and Q after Grim and Rowland 1942; Curves B and E after Mackenzie and Milne 1953; Curves C, G, and H after Sudo *et al.* 1952; Curves D, L, R, and S after Grim, Bradley and Brown 1951; Curves F, M, and O after Grim 1953; Curves I, J, and K after Mackenzie, Walker and Hart 1949; Curve N after Sudo 1951.)
N.B.—Vertical scales of all curves not identical; those of Grim *et al.* much expanded compared with those of Mackenzie *et al.*

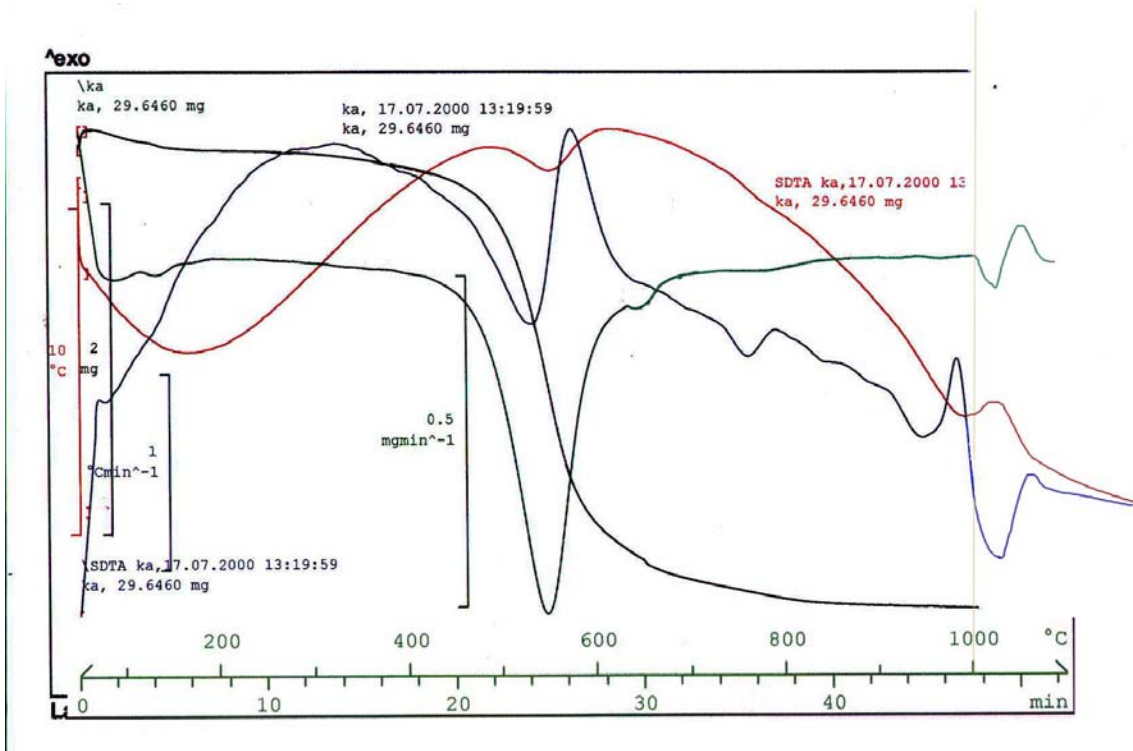
THE RANGE 800 - 1,000°C +

Caracterización ATD de las Arcillas Puras.

A partir del análisis térmico diferencial, se procede a comprobar los picos endotérmicos y exotérmicos característicos de cada especie mineral de arcilla, verificando su pureza respecto a los gráficos anteriores.

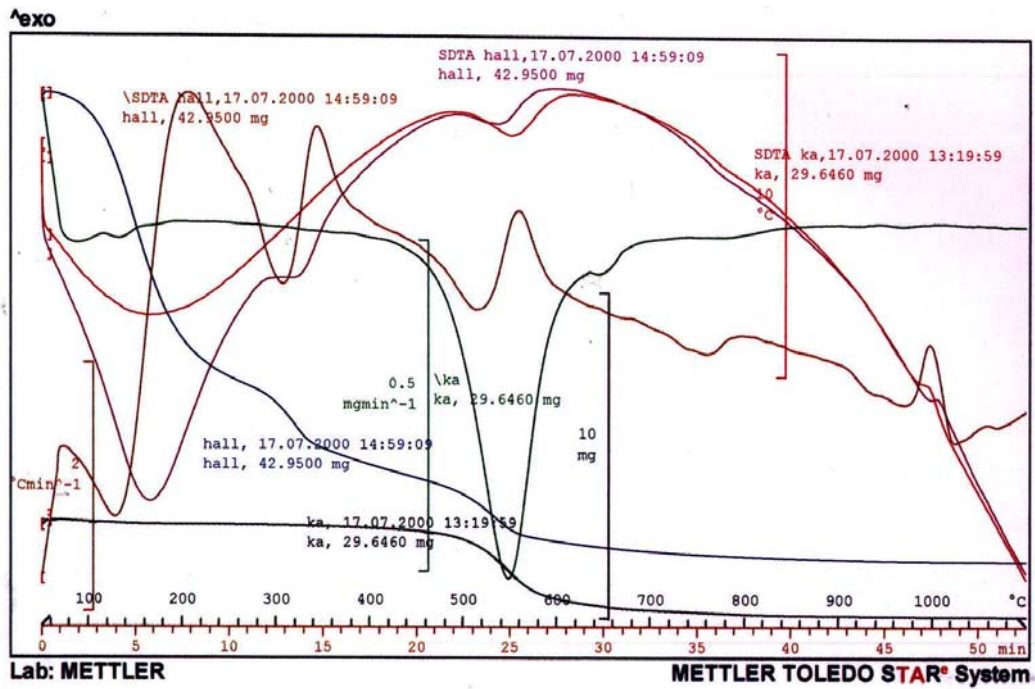
Respecto a la **Caolinita** de la Cañada de Verich podemos observar el siguiente gráfico con el ATG, en negro, escalado en pérdida de gramos, el ATD en rojo como incremento de temperatura diferencial respecto al tiempo y la primera derivada expresada como pérdida de peso respecto al tiempo en

mgmin⁻¹. Destaca sobretodo el pico endotérmico de los 550° y el exotérmico de los 1000°. En los 780° hay ciertas fluctuaciones que pudieran ser debidas a la reacción de calcinación producida por el Ca 2+ presente en la arcilla.

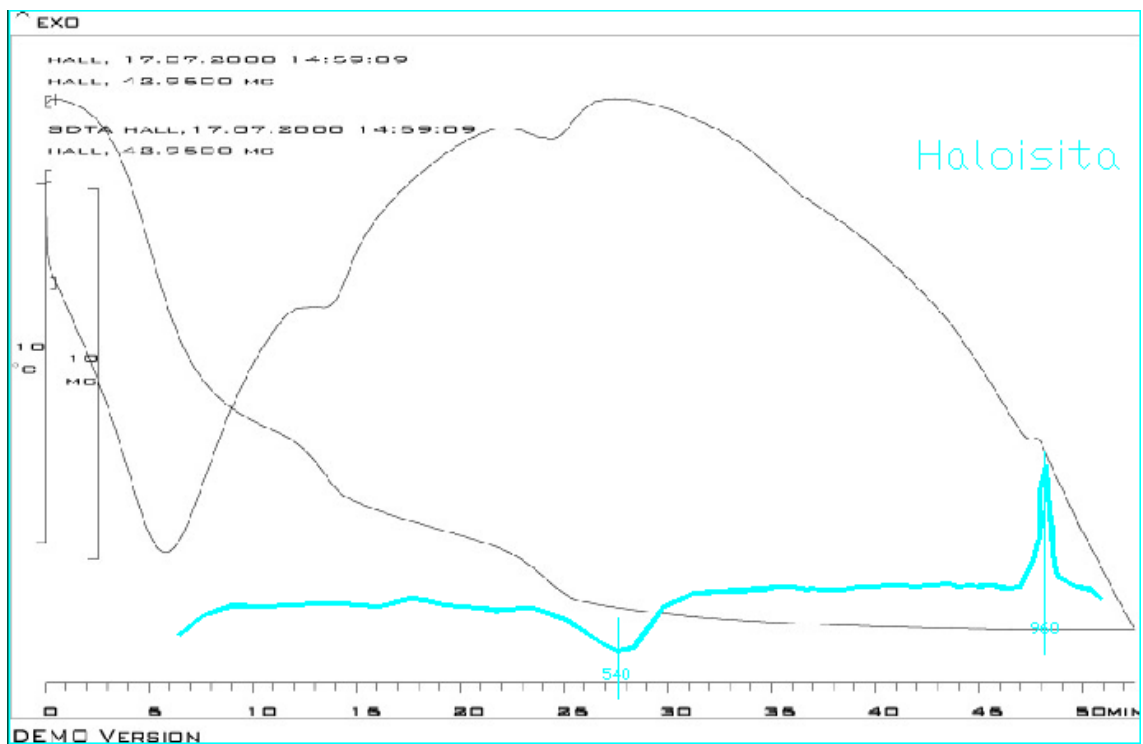


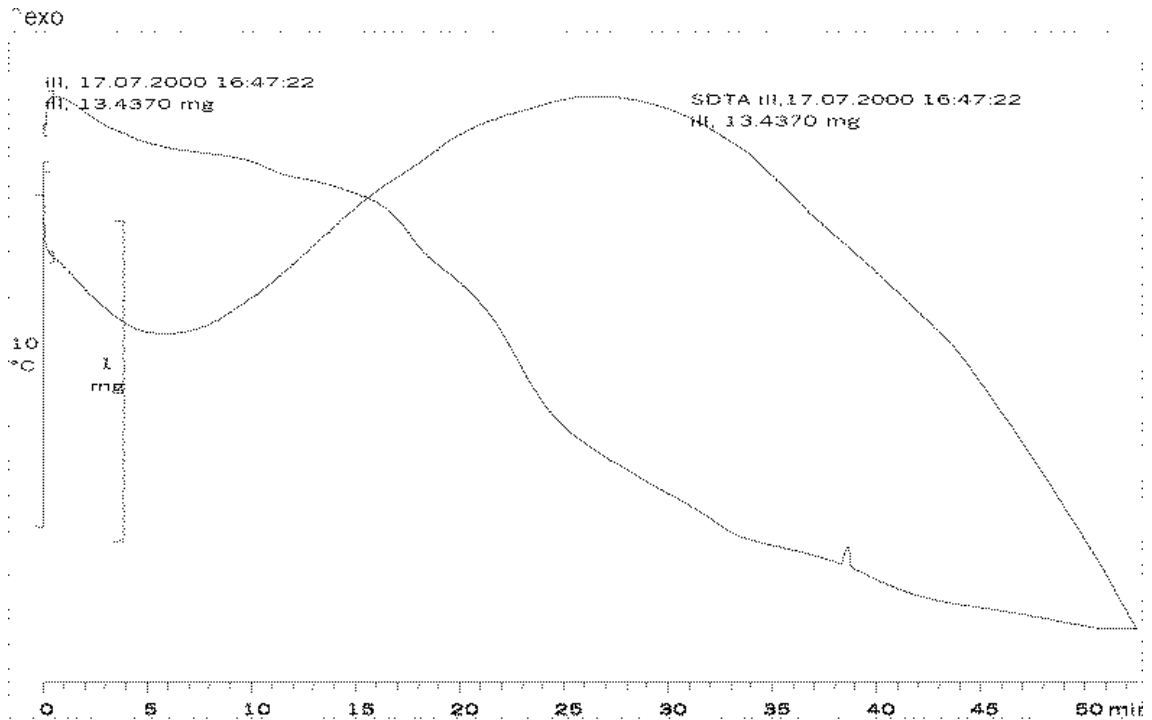
ATD 1 Ka. Caolinita Cañada de Verich

En la [Halloisita](#) se da una curva parecida, aunque el pico de los 500° desciende unos 15°. La zona de deshidratación inicial en los 175° es mucho más pronunciada, apareciendo también otra pérdida inicial en los 300°.



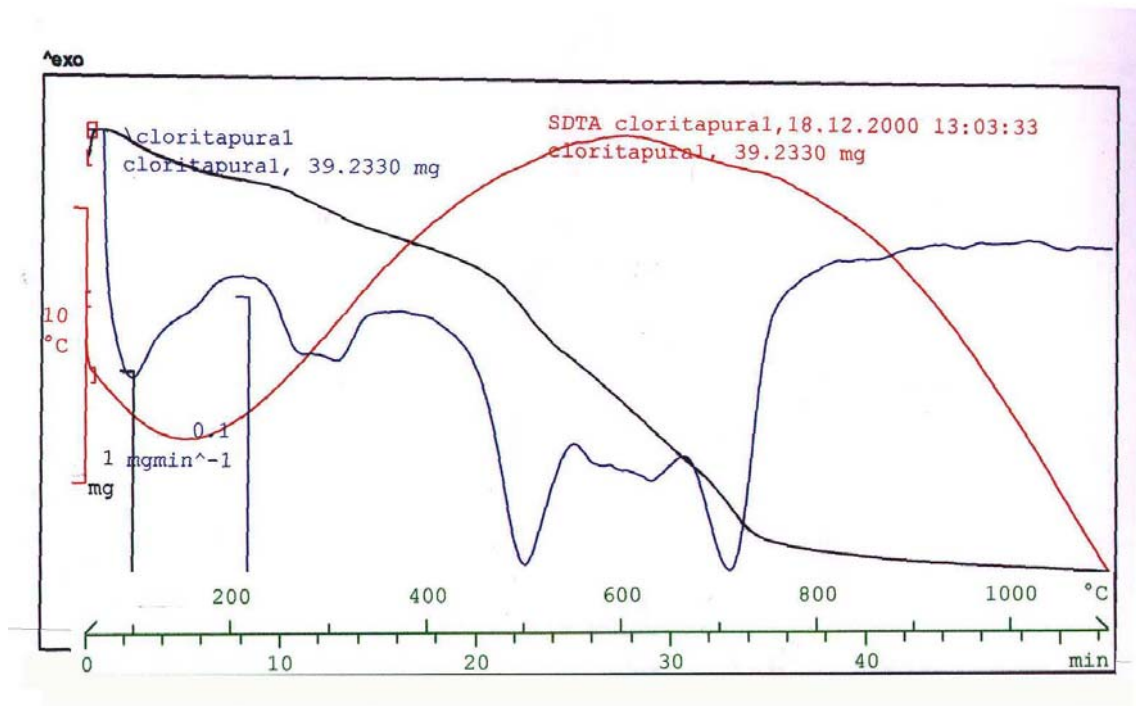
ATD 2 Superposición Ka Hall. Caolinita con Halloisita-Indianita. Parte inferior ATD/ATG de la Halloisita comparada con un ATD genérico.



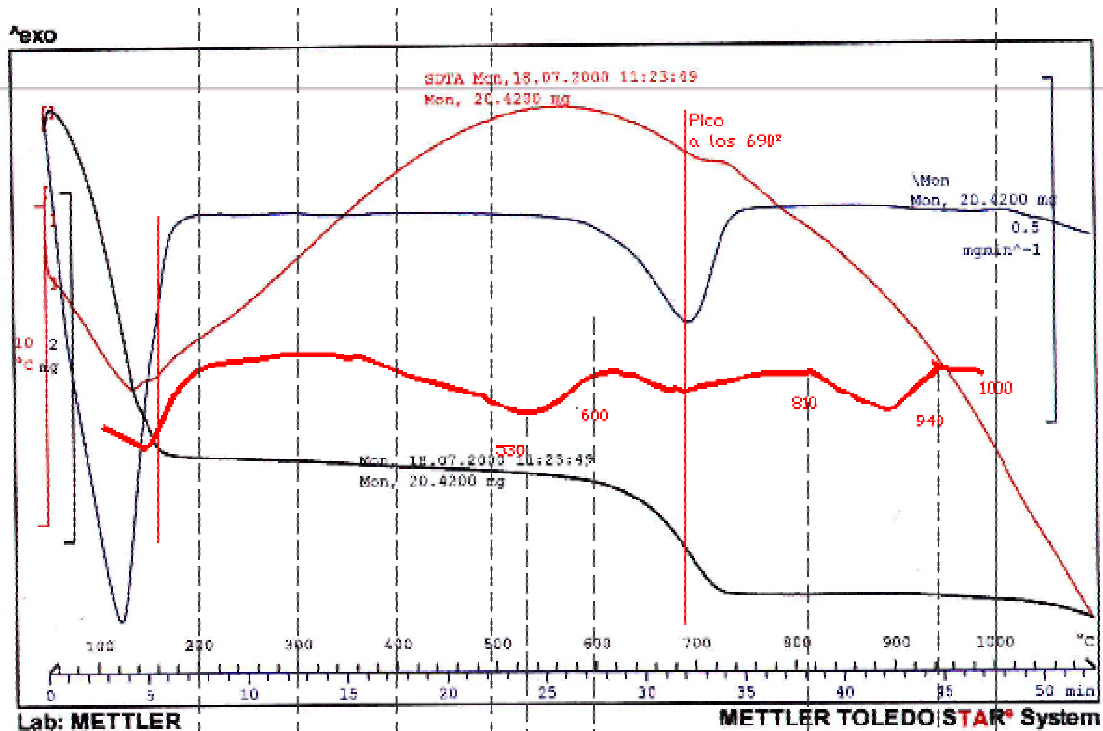


DEMO Version
 ATD 3 ATD y ATG de las Illitas.

El análisis termogravimétrico de la Illita caracteriza muy bien los picos endotérmicos de 400° y 500°, y uno doble exo-endo en los 800°-810°.

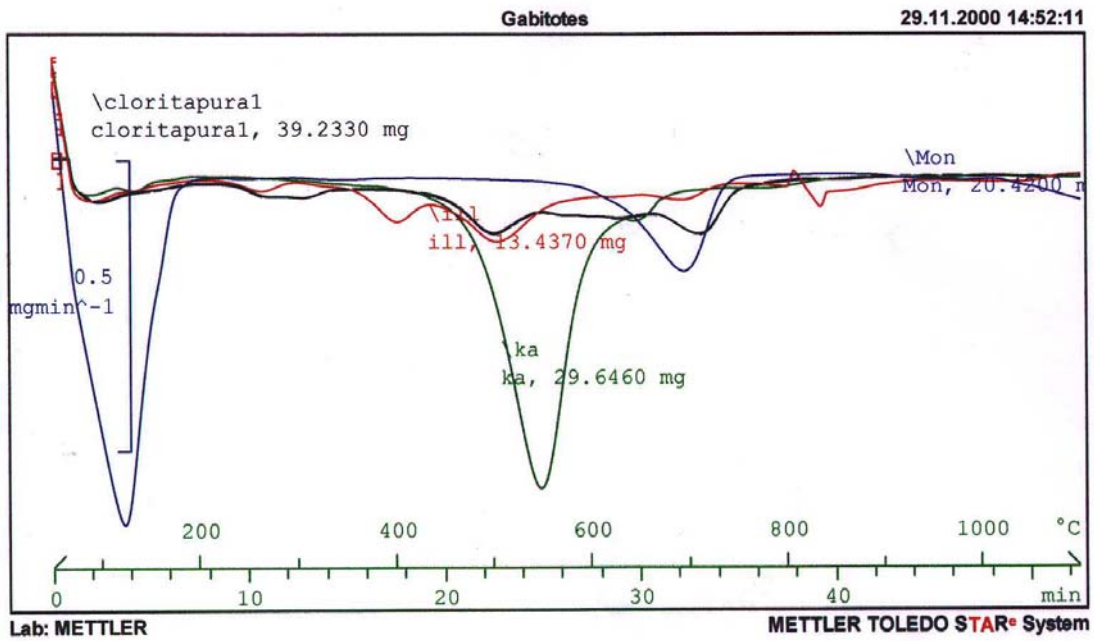


ATD 4 ATD, ATG y su derivada de las Cloritas. Se caracteriza por el triple pico endotérmico entre los 500-700°C. Cabe notarlos dos doble picos de deshidratación en los 100-150° y los 250-300°C.

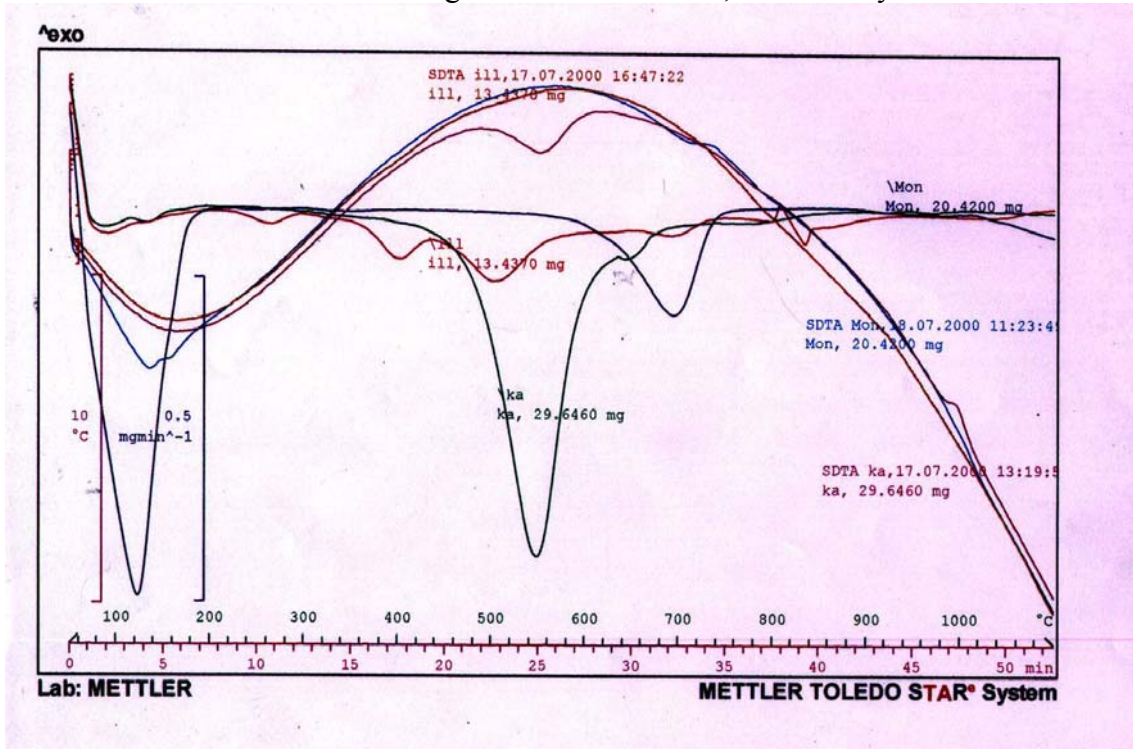


ATD 5 ATD, ATG y su derivada, de la **Montmorillonita**. La curva roja es un ATD genérico de referencia.

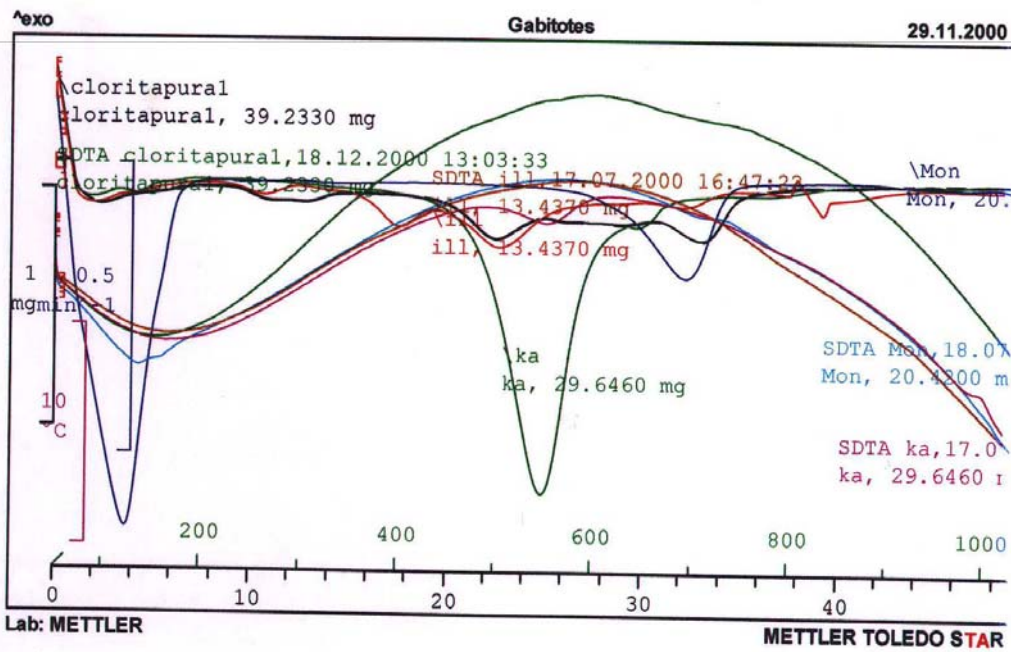
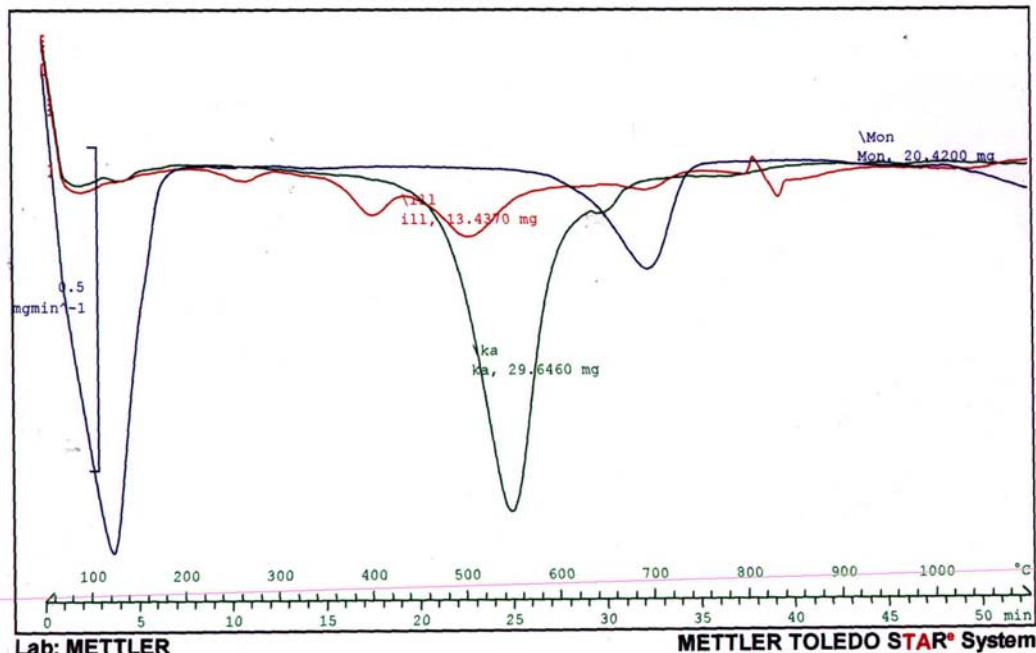
En la **Montmorillonita** destaca una pérdida de peso en agua del 10% en los 110, muy por encima del resto de las arcillas. En los 700° aparece el pico endotérmico, y el doble endo-exo de los 1000°, casi resulta inapreciable, de lo cual podría deducirse un muy bajo contenido de Mg^{2+} .



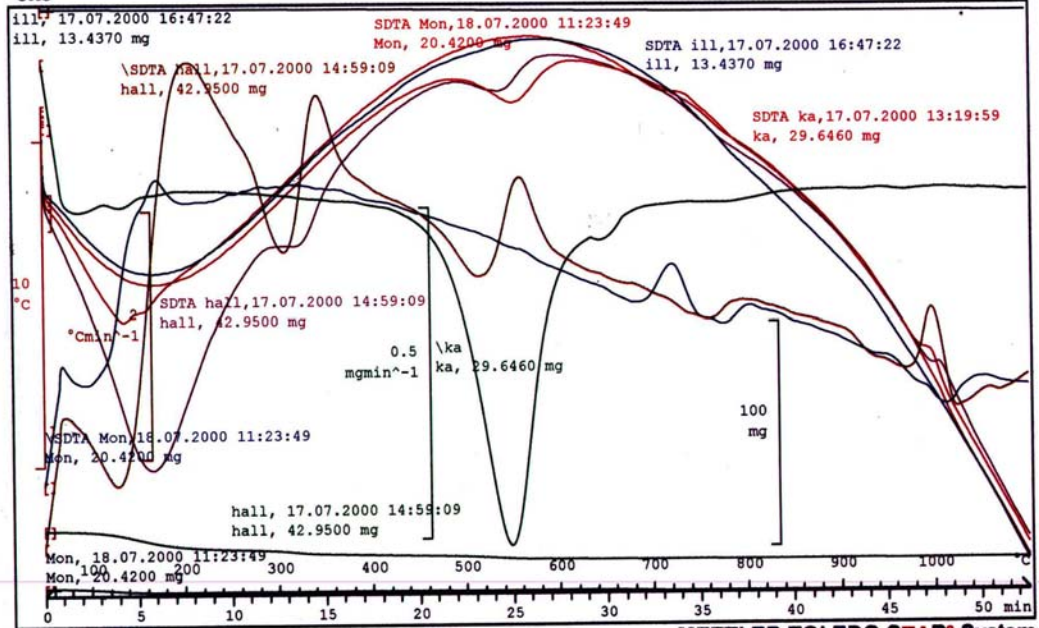
ATD 6 Funciones derivadas en mg min^{-1} de las Illitas, Caolinitas y Montmorillonitas.



Gráficos ATD y función derivada mgmin^{-1} comparativos de las arcillas puras estudiadas.



exo



Lab: METTLER

METTLER TOLEDO STAR® System

Análisis físicos

Obtención de las densidades de las microprobetas

En este punto se establece la metodología para la obtención de las densidades aparentes, másica (referida a peso seco) y natural (referida al peso en equilibrio en condiciones de laboratorio) de las microprobetas del Grupo I. Estos parámetros se obtienen sin la utilización de solución acuosa o disgregación de la muestra.

Dm.Densidad másica	DiDen.fracción	Dn.Densidad	Dr.Dens.real disgregado	Pto. Porosidad real.	P.Porosidad superficial	e.Indice de	e.superficial.	W.A bsorción
o volumen específico	inaccesible o aparente	natural	Peso específico		Volumen poros.	huecos		
			granos real seco					
Ps/Pw-Ph.	Ps/Ps-Pho.	Pn/Pn-Pho	Ps/Ps-Phd	(Di-Dr/Di)x100	(Di-Dm/Di)x100	Pto/1-Pto.	Pt/1-Pt.	Pw-Ps/Ps)x100
								UNE 7008.A ST
Dm.	Di.	Dn.	Dr.	Pto.	Pt.	e0.	e.	w.

Tabla 2 Formulas y valores aplicables en el ensayo

Para las determinaciones gravimétricas se requiere utilizar una balanza con un error inferior a los $\pm 0,01$ gr.



La metodología de trabajo se basa en las normativas expuestas en el capítulo [1.2.5.3.4.](#)

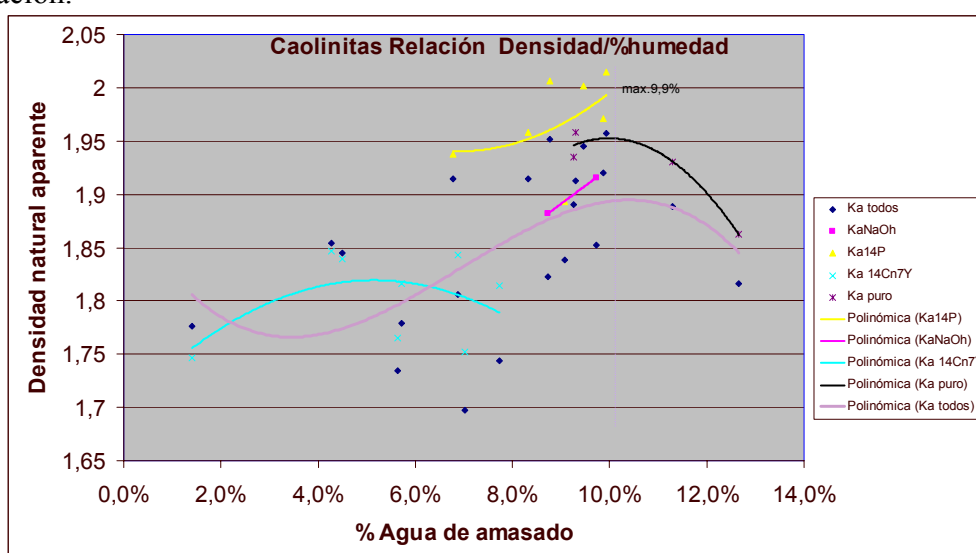
Determinación de las propiedades físicas, [ASTM C642-81](#), la [ASTM D 558-96](#) “Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures”, la [NLT-301/72](#), y las [UNE 7001, 7007, y 7140](#), modificadas en cuanto el uso de tetracloruro de carbono en frío, en el lugar de agua desionizada, y así evitar la destrucción de la probeta en inmersión.

Otras normas utilizadas con información referencial relacionadas con la evaluación de la densidad son: [UNE 7084](#). Determinación de la humedad superficial de gravas y arenas. Este ensayo se ejecuta por determinación gravimétrica en picnómetro aforado, con 200gr. de muestra. Se compara la absorción superficial instantánea de agua con el peso de la muestra con la superficie seca, [UNE 7083](#).

La **densidad** obtenida mediante la medida del volumen geométrico con pie de rey, y precisión de décima de milímetro es válida como orientativa para determinaciones rápidas, como lo es el tanteo para fijar el grado óptimo de humedad para conseguir una densidad máxima.

En la gráfica adjunta se muestran la variabilidad de las densidades obtenidas en función del porcentaje de agua utilizado para elaborar la microprobeta, del tipo de arcilla y su estabilización.

Las líneas de tendencia añadidas nos definen de nuevo los porcentajes óptimos de agua de elaboración.



Para las probetas estabilizadas, en las cuales no exista peligro de disgregación de la muestra por inmersión, se afinan los resultados mediante el [procedimiento de la balanza hidrostática](#), el más habitual y especificado en las normas de referencia dadas.

La muestra colgada del plato de la balanza se sumerge en un recipiente con agua destilada. Ello comporta un empuje hacia la superficie equivalente al volumen de la muestra. Con este procedimiento el peso registrado hidrostático es el peso seco menos el peso del agua desalojada, igual al volumen de la muestra.

Para las muestras deleznable en agua y más irregulares se utilizó un volumómetro para ganar en exactitud, y poder medir a la vez las pérdidas de muestra.

Pero en el momento que la muestra se deshace en finos, el sistema pierde exactitud y no es viable.

Por esto se decidió la utilización de otro líquido más denso que el agua, y que no deshiciera la muestra al entrar en contacto con ella, el tetracloruro de carbono Cl_4C en frío y al vacío.

Esto se tuvo que hacer en las muestras de arcilla pura sin estabilizar, en algunas de las estabilizaciones con yeso y cemento natural, y sobretodo en las de la familia de la Montmorillonita.

Los pasos para realizar el ensayo son:

-Ps. Obtención del peso seco de la muestra después de 24 horas en estufa a 60°C , y enfriado en desecador sobre Ácido Sulfúrico concentrado.

El hecho de acotar la temperatura a 60°C , en lugar de la usual de 105°C para obtener el valor total del agua higroscópica, se justifica porqué a temperaturas superiores a los 60°C se modifican las estructuras de las arcillas hidratadas y así evitar la influencia de los efectos fisicoquímicos producidos.

-P0 Tara de Picnómetro lleno con Tetracloruro de Carbono Cl_4C aforado. El picnómetro es de diseño propio con boca de diámetro 5.53cm. (ver Ilustración).

-P1. Introducir la muestra dentro del Picnómetro. Añadir el Cl_4C hasta que el líquido llegue a la marca del aforo. Pesarse inmediatamente todo el conjunto.

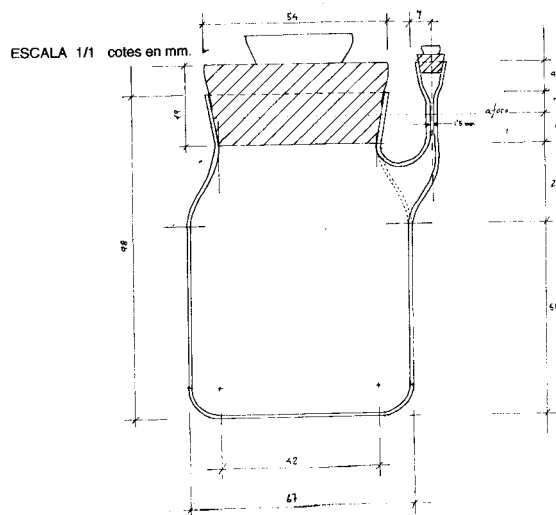
-P2. Se repite la pesada a las 24 horas, tras aforar de nuevo el picnómetro.

-P3. Se extrae la muestra sin que gotee. Se pesa inmediatamente, ya que el Cl_4C se evapora con mucha rapidez..

-P4. Se pesa el picnómetro con el Cl_4C que ha quedado.

-P. Se vuelve a colocar la probeta en el picnómetro, se afora de nuevo, y se repite el peso

aquest model de picnòmetre aforat, per fer les mesures volumètriques per pes .



Aquest picnòmetre va ser dissenyat pel nostre equip , i fet per



Las ecuaciones y valores que se utilizan son los mismos que en la balanza hidrostática, únicamente se introducen dos factores correctores:

-Factor corrector de la densidad 1.594

-Valor de aforado del picnómetro.



Éste procedimiento se ha aplicado a las microprobetas ejecutadas con Montmorillonita, ya que se deshacen inmediatamente en contacto con el agua. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos.

	Po.Tara picnó- metro aforado	P1.Pes Pic. con m.seca.	P2.Pes Pic.24h.aforado muestra saturada	P3. Pes sat. en C14 Ca	P4.C14Ca resto final	cm3.C14Ca que falta o error de peso	P3.final $(P2-P4-(1,594 \times P-)+P3)/2$	Pho.Peso hidrostático $P_s-((P_o+P_s-P1)/1,594)$	Ph.final saturado $P_w-((P_o+P3-P2)/1,594)$
				$\rho=1,594$				Ps-V aparente inicial	Ps-Vespecifico con los poros ocultos t'e agua 20
								la muestra hauria d'estar saturada?	
	Po.	P1.	P2.	P3.	P4.	P-.	P3.f	Pho.	Ph.
MON14P	463,43	462,43	466,13	10,82	455,33	-0,02	10,83	-0,63	-5,10
MON14CN7Y	463,43	465,73	465,60	10,32	455,23	0,05	10,31	-1,44	-5,10

La medida media de las densidades máxicas obtenidas en las microprobetas, con sus respectivas desviaciones estándar, calculadas según, se dan en la siguiente tabla:

			Densidad máxica seca media		
			desviación estándar		
			±	%	
Ka			1,95	0,01	1%
Ka14P			1,9	0,03	0%
Ka NaOH-			1,9	0,017	0,89%
Ka14CN7y			1,75	0,10	6%
Ka14P			1,93		
Ka14CN7y			2,1	1,21	0%
CL . Clorita					
CL . Clorita			1,66	0,06	3%
CL NaOH-			1,76	0,08	4%
CL14P oh-			1,78	0,09	5%
CL NaOH-			1,76	0,08	4%
CL14P oh-			1,6		
L14CN7Y' oh-					
L14CN7Y' oh-					
ILL.Illita			0	0,00	0,00%
ILL.Illita			1,98	0,01	0,74%
ILL NaOH-			2,04	0,02	1,2%
ILL14P oh-			1,93	0,08	4%
ILL14P oh-			1,93	0,08	4%
L14CN7Y oh-			1,9	0,07	4%
HALL.Halloisita			1,59	0,05	3%
HALL.Halloisita			1,59	0,05	3%
HALL NaOH-			1,56	0,04	3%
HALL14P oh-			1,64	0,13	8%
HALL14CN7Y oh-			1,56	0,05	3%
Mon			1,86	0,06	3%
MON NaOH-			2,1	0,13	6%
MON14P			1,93	0,07	4%
MON14CN7Y			1,78	0,10	5%

Se pueden tomar cómo valores de densidad específica absoluta de referencia a¹⁶:

¹⁶ GEOTECNIA Y CIMENTOS Y, Ed. Rueda, Madrid, 1977.

Aragonito	Halloysita 2H ₂ O	2,7 – 3,1	
2,94	2,95	Ortosa	
Atapulgita	Hematites	2,50 – 2,62	
2,30	5,2 – 5,3	Pirofilita	
Augita	Hematites hidratada	2,84	
3,2 – 3,4	4,30	Serpentina	
Biotita	Hornblenda	2,1 – 2,7	
2,8 – 3,2	3,2 – 3,5	Talco	
Calcita	Illita	2,7 – 2,8	
2,72	2,60 – 2,86	Turba	
Caolinita	Illita Na	1,1 – 2,7 (media 1,5)	
2,63	2,78	Vermiculita K	
2,64 ± 0,02	Limonita	2,80	
Clorita	3,6 – 4,0	Vermiculita Na	
2,6 – 3,0	Magnetita	3,05	
Cuarzo	4,97 – 5,18	Yeso	
2,65	Montmorillonita	2,31 – 2,33	
2,64	2,74		
Dolomita	2,65 – 2,84		
2,80 – 2,99	Moscovita		

Determinación de los límites de Atterberg.

Se determinará en este apartado sólo los índices de Atterberg correspondientes a la fracción <70 μ de las arcillas y limos. Éstos darán un mayor conocimiento de la tipología de arcillas que estamos tratando.

Consultar Anexos Norma 23.

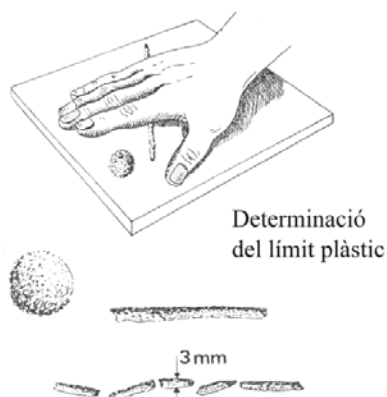
Obtención del límite plástico

El límite plástico determina la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelos de unos 3 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen.

Se toman unos 20 gr. de muestra de la mezcla de arcilla a ensayar que pase por el tamiz 0,40 UNE 7050. Se amasa con agua destilada hasta formar con facilidad una bola, y se toman unos 15 gr. de dicha bola como muestra para el ensayo.

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda entre los dedos de la mano y una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros de 5 a 6 cms de longitud. El cilindro debe desmoronarse o romper con un

diámetro de unos 3 mm. Sí al llegar a los 3 mm el cilindro no se desmorona se vuelve a hacer otro elipsoide y se repite la operación, y así sucesivamente hasta que rompa a los 3 mm de diámetro en porciones de 1 a 2 cms de longitud. Sí, por el contrario, el cilindro rompe antes de llegar a los 3 mm de diámetro deberá añadirse agua destilada a la muestra y repetir la operación hasta conseguir el resultado deseado.



La porción así obtenida se coloca en un tarado, y se continúa el proceso hasta reunir unos 5 gr de suelo. Se determina la humedad de acuerdo con la norma [UNE-328](#).

Se repite el proceso con la otra mitad de la masa.

El límite plástico es la media de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con una cifra decimal.

Normas de referencia [UNE 7-378-75](#). y la [NLT-106/72](#)

Ensayo del Límite líquido

La norma NLT-105/91 tiene como finalidad la determinación del límite líquido para las partículas finas de un suelo. Este límite es el contenido porcentual (%) de humedad que obtenemos, al conseguir que se cierre un surco practicado en un suelo contenido en el interior de una cazoleta de bronce, al golpear 25 veces esta cazoleta contra una base de una dureza estandarizada, llamándose el aparato donde se realiza este ensayo la cuchara de Casagrande.

Procedimiento de trabajo

Deberemos obtener un mínimo de 60 gramos de muestra de fracción fina para ensayar, mediante tamizado del suelo por el cedazo UNE 0,40 mm. (ASTM nº 40), aunque se aconseja obtener 250 grs.

Una vez conseguida una porción suficiente para realizar el ensayo, procederemos a amasarla con agua, en la cantidad que el operador considere necesaria para cerrar el surco en un intervalo de 10 a 40golpes, (de tal modo que sí el surco cierra antes de 10 ó después de los 40 golpes deberá repetirse la operación.)

El amasado de la muestra se realizará con un espátula o similar hasta asegurarnos que la mezcla esté completamente homogénea y uniforme, dejándola descansar un mínimo de 4 horas, y 18 en el caso de suelos arcillosos.¹⁷

Aunque esta fase pueda parecer muy evidente, será necesaria la destreza y experiencia del operador para calcular el agua necesaria para la mezcla, de modo que ésta no sea excesiva, ya que se debería esperar a que se secase; resultando el tiempo empleado en el ensayo mucho mayor al estrictamente necesario. Obviamente, si el agua resultase poca, se iría añadiendo hasta llegar a la humedad deseada.

Cuando la mezcla presente una apariencia de uniformidad y un contenido de humedad suficiente, la iremos colocando con sumo cuidado en la parte inferior de la cazoleta de la cuchara de Casagrande, con la ayuda de la espátula, de tal modo que quede aproximadamente como muestra la foto siguiente:

A continuación, y con la ayuda de un acanalador normalizado, realizaremos en la parte media de la muestra un surco de 11 ± 2 mm, de manera que durante el recorrido el acanalador se mantenga perpendicular a la superficie de la cuchara.

Cuando se haya conseguido un surco, lo más regular posible, se comenzará a girar la manivela de la cuchara (que mediante una excéntrica, hace golpear la cazoleta contra la base), a razón de 2 golpes por segundo, de tal modo que se unan las paredes del surco por su parte inferior en una longitud de unos 12 mm ó 13 mm aproximadamente. Esta unión debe producirse entre los 20 y los 25 golpes, de lo contrario deberá repetirse la operación extrayendo o añadiendo humedad.

Si hemos conseguido cerrar el surco en una longitud de 13 mm, próximos a los 25 golpes tomaremos muestra de a zona donde se han juntado los bordes.

La muestra que cojamos nos servirá para determinar la humedad (recomendable coger unos 15 grs.) , se pesará, anotando el resultado y seguidamente se introducirá en la estufa a 60°C durante 24 h, subiendo a 105°C, durante los veinte minutos anteriores a la pesada.

Repetiremos el mismo proceso para encontrar un punto al lado opuesto entre los 25 y 30 golpes

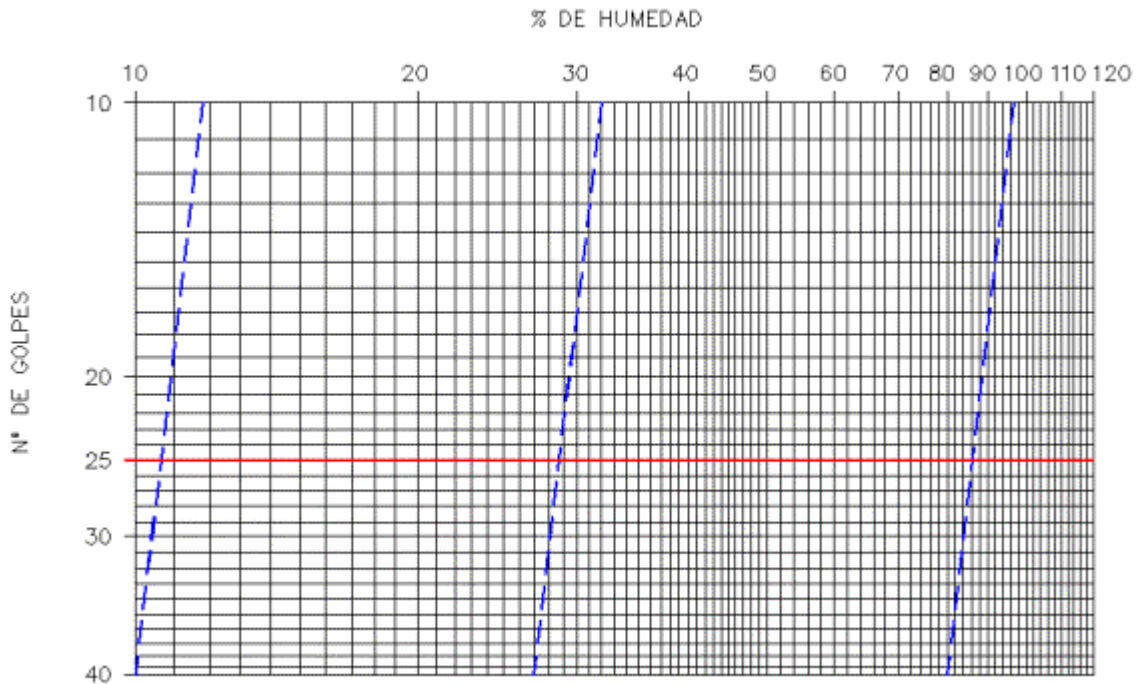
Una vez determinados los dos puntos, cada uno de ellos correspondientes a los intervalos 20-25 golpes y 25-30 golpes respectivamente, los situaremos en una gráfica de doble escala logarítmica, donde

el eje de abscisas muestra la humedad (%) y el eje de ordenadas el nº de golpes.

Dependiendo de la bibliografía que se consulte, esta gráfica puede coincidir en abscisas y ordenadas con la descripción dada o estar dispuesta al revés. Este detalle no tiene la menor importancia;

solamente a efectos de comodidad, para ubicarla en la hoja de trabajo.

¹⁷ Manual de Laboratorio CRATerre-EAG. 1992



En dicha gráfica se muestra una línea discontinua de pendiente 8,547 (0,117 en los casos comentados.)

Esta recta ha sido obtenida tras numerosas determinaciones, de las que se ha deducido, que para un mismo suelo, los puntos correspondientes a diferentes grados de humedad forman una recta cuya pendiente más probable es ésta.

Para determinar el límite líquido, se trazará una recta paralela a la de referencia (pte. 8,547), de tal modo que se adapte lo mejor posible a los dos puntos. La humedad que corresponda en esta recta con los 25 golpes, será el valor del límite líquido.

El proceso se puede simplificar intentando, en un buen principio, conseguir el grado de humedad justo para ajustarse a los 25 golpes. Para ello se puede hacer uso de una lámpara de infrarrojos para secar y de una espátula para premezclar la muestra sobre la misma cuchara si la debemos humedecer.

También es interesante destacar la importancia del posible secado de la muestra antes de realizar el ensayo. Se ha demostrado que con el secado en estufa, se producen apreciables desviaciones en los resultados del ensayo, por lo que, siempre que sea posible, se recomienda no secar en estufa, siendo preferible el secado al aire de la muestra.

La Cuchara de Casagrande

El aparato básico de este ensayo de determinación del límite líquido, es la cuchara de Casagrande.

La cuchara de Casa grande consiste en una cazoleta de bronce, sujeta a una base de un material de dureza determinada, que mediante una manivela y un sistema excéntrico hace que la cazoleta se levante de la base 1 cm. para volver a caer, golpeando contra ésta.

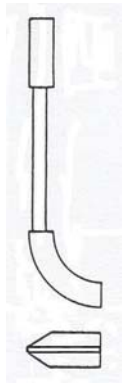
El profesor Arthur Casa grande, advirtió la importancia que tiene en los resultados la naturaleza de la base sobre la que golpea la cazoleta, llegando a la conclusión de que era necesario normalizar la resiliencia dinámica de las bases (índice de resistencia al choque.). Para ello es preciso que, dejando caer sobre la base una bolita de unos 8 mm. de diámetro desde una altura de 25 mm, la altura de rebote esté comprendida entre el 75% y el 90%. En Estados Unidos se utiliza para la base, desde 1945, un plástico llamado Micarta número 221, fabricado por Westinghouse.

Es importante asegurarnos del buen funcionamiento de la cuchara, por ello deberemos comprobar su calibrado con frecuencia. Esto lo haremos elevando la cazoleta desde la base 1 cm. (con la ayuda de la parte superior del acanalador) en el punto donde se produce el golpe. En estas circunstancias giraremos la manivela, de modo que la excéntrica roce con la pieza de la cazoleta que hace que ésta ascienda.

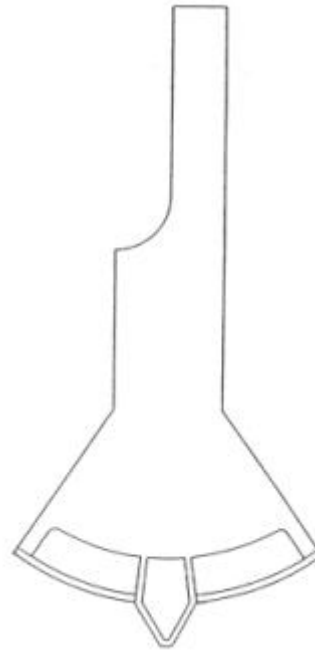
El acanalador de Casa grande es el que generalmente debe usarse, ya que con él se obtiene siempre la misma profundidad de surco.

El acanalador de la A.S.T.M. tiene como inconveniente que no controla la altura del surco y con él se obtienen sistemáticamente valores del límite líquido inferiores que con el acanalador de Casa grande.

Una de las ventajas que presenta el acanalador de la A.S.T.M. es que se desgasta mucho menos que el de Casa grande.



ASTM



CASAGRANDE

En suelos poco plásticos, el acanalador de Casa grande presenta un inconveniente, y es que los surcos que hace resultan muy irregulares, llegando a arrastrar cantidad considerable de muestra; por ello

Hoványi (1958) ideó un acanalador, parecido al de Casa grande, hueco interiormente, que permite abrir surcos en suelos poco plásticos.

Normas de referencia NLT-105/91 que se corresponde con las normas UNE 7377, ASTM D-423-66 (72), ASTM D-4318. **Normas 16-18-19 Anexos**

Según el método expuesto los resultados obtenidos con las Arcillas puras han sido:

	Wp	Wl	Ip	arcillas%	Ip/arcillas%
Ka	14,37%	32,93%	18,57%	0,50	0,37
CL . Clorita	15,66%	16,73%	1,07%	0,50	0,02
ILL.Illita	20,00%	28,61%	8,61%	0,50	0,17
HALL.Halloisita	29,37%	34,52%	5,15%	0,50	0,10
Mon	24,76%	70,60%	45,84%	0,50	0,92

Tabla 3 Plasticidad de las arcillas puras.

Índice de plasticidad.

Ip es la diferencia entre el límite líquido (wl) y el límite plástico (wp.)

$$Ip = wl - wp$$

El CRATerre define tres tipos de plasticidad en función de los resultados:

Tipos de plasticidad	Índice de plasticidad
plasticidad débil	<i>de 5 a 10</i>
plasticidad media	<i>de 10 a 20</i>
plasticidad fuerte	<i>superior a 20</i>

De esta tabla de referencia y de los resultados expuestos en Tabla 3 se deduce:

- Las Cloritas utilizadas en esta fase experimental no tienen apenas plasticidad.
- Las Halloisitas presentan una plasticidad muy débil.
- Las Illitas tienen una plasticidad media.
- Las Caolinitas la tienen media-alta.
- Y finalmente las Montmorillonitas del Grupo I son fuertemente plásticas.

Coefficiente de actividad de las arcillas

El coeficiente de actividad nos da información del aumento de volumen y de la retracción del material tierra, al relacionar el índice de plasticidad y el porcentaje de arcillas.

$$Ca = Ip / \% \text{ argiles}$$

CRATerre establece una clasificación de las tierras en función de su coeficiente de actividad.

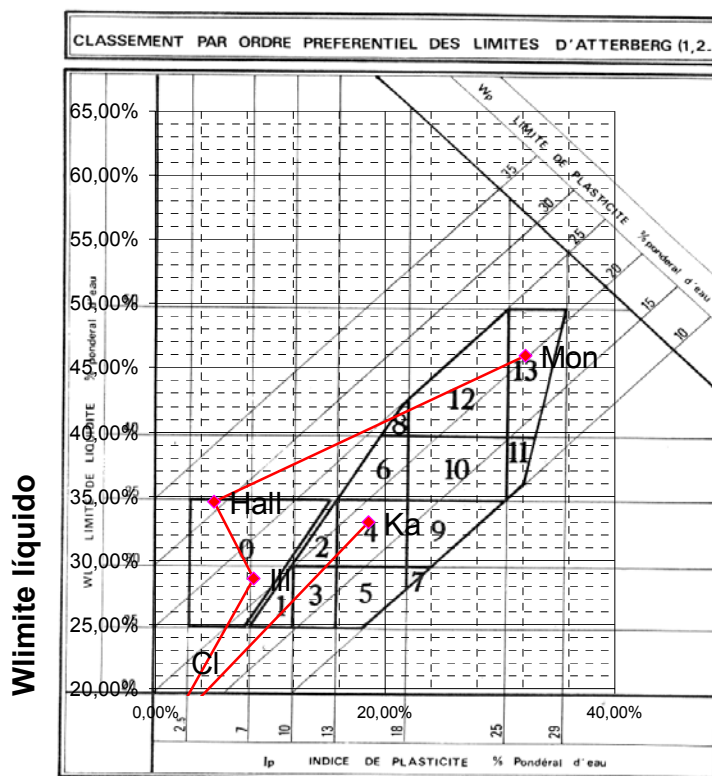
Coefficiente de actividad	Tipos de suelo
inferior a 0.75	<i>Inactivo</i>
de 0.75 a 1.25	<i>Actividad media</i>
de 1.25 a 2.00	<i>Activo</i>
superior a 2.00	<i>Muy activo</i>

Según el método expuesto los resultados obtenidos las Arcillas puras del Grupo I mezcladas con la arena normalizada ofrecen un tipo de material inactivo, a excepción de las Montmorillonitas que son de actividad media.

Sí se extrapolan los resultados a la gráfica de Casa grande utilizada por el CRAterre, ver [Tabla 4](#), resulta que la Halloisita y la Clorita se encuentran en la zona no plástica, la Illita en la zona 1, la Caolinita en la 4, y la Montmorillonita en la 13. Sí se aplica este cuadro inferior, (fuente CRAterre) sólo requeriría estabilización la Montmorillonita, aspecto erróneo desde el punto de vista de la Durabilidad y de la resistencia, tal como se evidencia en los resultados que se muestran en los próximos puntos de la Tesis.

Zona plástica	Actividad	Grado de estabilización
1-2-3-4-5-6-7	Inactivo	Bajo o nulo
8-9-10	Actividad media	Bajo o medio
11-12-13	Activo	Importante

Arcillas con arena



Índice de plasticidad

Tabla 4 Límites de Atterberg de las Arcillas del Grupo I

• ESSAI DE LIQUIDITE
 • COURBES D'INTERPRETATION

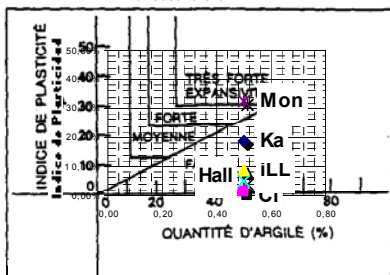
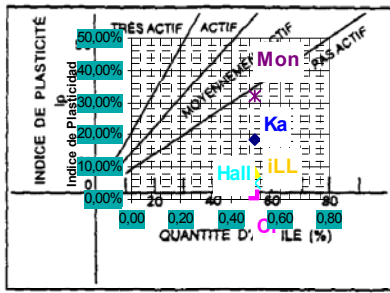
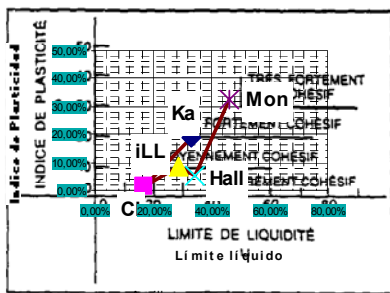
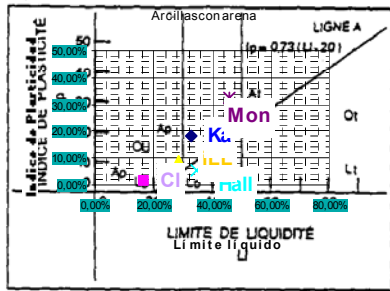


Tabla 5 Cuadros comparativos del análisis de los límites de Atterberg para la caracterización de las principales características físicas de las arcillas. La muestra de Montmorillonita al 50% aparece como la tierra más activa, con mayor grado de expansividad y mayor cohesión. Tras ella va la Caolinita, y más parecidas, con menor compacidad, expansividad y actividad están las Illitas, las Cloritas y la Halloisita. Cabe citar que los resultados obtenidos con este tipo de Illitas no está muy acorde con la información antecedente de esta especie mineral, debían haber aparecido en un punto intermedio entre caolinita y montmorillonita.

Resistencia a Compresión Simple.

Sobre 2/3 de las microprobetas fabricadas se ha efectuado el ensayo de compresión simple, con prensa manual, basada en anillo dinamométrico de deformación, debido a las pequeñas



dimensiones de las muestras.

Como normas de referencia se han considerado:

Esta norma define el estado de la probeta a partir de tenerla en inmersión durante 4 horas, y para ser sometida posteriormente a una comprobación de planeidad de caras. Las probetas de ejecutan de 10x10 cms, y rompiéndolas a 1mm/min, lo cual da una precisión media del orden del 6%.

Pero finalmente para el ensayo nos hemos basado en la [UNE 7.242](#), con la rotura de 5 probetas para encontrar la resistencia característica, con una velocidad de carga de 3/7 Kp/cm²s. El valor límite de la tensión de rotura a compresión sale de dividir el valor de lectura de la prensa multiplicado por un valor de corrección de 1.67, por el área, medida a partir de las dimensiones medias.

Para homogeneizar la pieza se ha descartado el refrendado superficial con azufre fundido por un alisado meticuloso de la superficie, todo para poder preservar y no alterar las características de la muestra, ya que ésta será analizada después químicamente. Las microprobetas se han puesto entre dos placas metálicas para repartir homogéneamente los esfuerzos.

Los resultados obtenidos se exponen en las siguientes tablas:

Código	Composición Microprobeta Grupos	Densidad másica seca media			Incremento %	Compresión	desviación estándar			
		desviación estándar					respecto la	Kp/cm2.	desviación estándar	
		±	%				muestra sin estabilizar		±	%
	NaOH. Sosa cáustica al 1,5%									
	P-450 Cemento Portland Molins									
	14%CN.naturalde mina Collet y 7%Yeso					4mmxmin				
Ka	Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	1,95	0,01	1%		53,57 Kp/cm2	±1,13 kp/cm2	2,10%		
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	1,9	0,03	0%	237%	180,37 Kp/cm2	±10,79 kp/cm2	5,98%		
Ka NaOH-	Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0	1,9	0,017	0,89%	54%	82,65 Kp/cm2	±4,43 kp/cm2	5%		
Ka14CN7y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0	1,75	0,10	6%	133%	124,83 Kp/cm2	±11,71 kp/cm2	9,38%		
Ka14P	Caolinita con Portland	1,93				64,03 Kp/cm2				
Ka14CN7y	Caolinita con Yeso y C.Natural	2,1	1,21	0%		26,97 Kp/cm2				
CL . Clorita	Clorita Collcerola.Barcelona									
CL . Clorita	Microprobeta 50%Clorita PF=0	1,66	0,06	3%		39,76 Kp/cm2	±2,82 kp/cm2	7,09%		
CL NaOh-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa	1,76	0,08	4%	-44%	22,33 Kp/cm2	±2,23 kp/cm2	9,97%		
CL14P oh-	Microprobeta 50%Clorita con 14% C.portland	1,78	0,09	5%	164%	105,01 Kp/cm2	±3,67 kp/cm2	3,49%		
CL14P oh-	Microprobeta 100% Clorita con 14% C.portland PF=0	1,6				27,64 Kp/cm2				
CL14CN7Y* oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso				70%	67,60 Kp/cm2	±6,88 kp/cm2	10,18%		
ILL. Illita	Microprobeta 50% Illita EE.UU	1,98	0,01	0,74%		96,57 Kp/cm2	±1,83 kp/cm2	1,89%		
ILL NaOh-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa	2,04	0,02	1,2%	32%	127,64 Kp/cm2	±4,30 kp/cm2	3,37%		
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland	1,93	0,08	4%		247,10 Kp/cm2	±6,05 kp/cm2	2,45%		
ILL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso	1,9	0,07	4%	-33%	85,73 Kp/cm2	±10,06 kp/cm2	11,74%		
HALL.Halloisita	Halloisita pura Indiana. EE.UU	1,59	0,05	3%		38,13 Kp/cm2	±1,85 kp/cm2	4,86%		
HALL NaOh-	Halloisita pura con 1,5% sosa	1,56	0,04	3%	-15%	32,25 Kp/cm2	±3,73 kp/cm2	11,56%		
HALL14P oh-	Halloisita con 14% c.natural	1,64	0,13	8%	-4%	36,44 Kp/cm2	±3,51 kp/cm2	9,64%		
HALL14CN7Y oh-	Halloisita con 14% c.portland	1,56	0,05	3%	18%	45,18 Kp/cm2	±3,90 kp/cm2	8,63%		
Mon	Mon.Montmorillonita EE.UU	1,86	0,06	3%		79,34 Kp/cm2	±6,94 kp/cm2	8,75%		
MON NaOh-	Montmorillonita con 1,5% sosa	2,1	0,13	6%	83%	144,89 Kp/cm2	±2,95 kp/cm2	2,04%		
MON14P	Montmorillonita 14% c.portland	1,93	0,07	4%	161%	206,72 Kp/cm2	±20,48 kp/cm2	9,91%		
MON14CN7Y	Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso	1,78	0,10	5%	107%	164,32 Kp/cm2	±15,67 kp/cm2	9,54%		

Tabla 6 Resistencias medias Arcillas Grupo1

n° Muestra	arcilla	arena	cal	%	cemento gr.	%	aigua a.	aigua a.	relación	Fecha	Peso	Peso natural	dimensiones			Densidad	Ps.Peso seco	HR%	γ max	Prensa	%.Compresión	Fecha rotura			
							relación %	a/c	a/c<30μ	Fabric.	fabricación	a dos días	largo	ancho	alto	aparente			densidad seca	1,11	Kp/cm2.				
I.P. probeta experimental.					P-450Molins		respecto a todo												gr/cm3	coef.corrector		Carado 4h a 60°/100%4hr			
					CN.natural collet		1,5% en peso de NaOH												aparente			2 Días secado al aire			
ESTABILIZACION.DOSIFICACION																		48h.estufa 60°C+20' a 105°C				condiciones de laboratorio 20° 60%4hr			
MEDIDAS MUESTRA tras secado																		ne ASTM C-642-81							
en peso																			Tensión de fabricación			kP/CM2			
n°	%	%	grs	%	grs	%	a.	a:	a/c<30μ			Pn				Δv	Ps.		Ds	kP	s+				
Caolinita Caña	25	25			7	7	7					50			1,9466	0,0115748	0,6%			53,57 Kp/cm2	±1,13 kp/cm2	2%			
Ka o	50%	50%			14%	6	9,3%			21-sep	12,2352	11,4639	2,12	2,07	1,35	1,935051	11,1983	2,32%	1,890218995	240,02	54,69 Kp/cm2	26-sep			
Ka oo	50%	50%			14%	6	9,3%			21-sep	12,4674	11,6757	2,16	2,06	1,34	1,9582005	11,4063	2,31%	1,91301784	233,35	52,44 Kp/cm2	26-sep			
Ka ooo	50%	50%			14%	7	12,7%			21-sep	7,5178	6,8408	2,24	2,05	0,8	1,8621516	6,6728	2,46%	1,816419861	431,70	94,01 Kp/cm2	26-sep			
Ka oooo	50%	50%			14%	8	11,3%			21-sep	11,9120	10,943	2,41	2,1	1,12	1,9305544	10,704	2,18%	1,888390211	310,02	61,26 Kp/cm2	26-sep			
Ka NaOH-															1,8987	0,0168477	0,9%			82,65 Kp/cm2	±4,43 kp/cm2	5%			
Ka NaOH- o	50%	50%			14%	4,75	8,7%			21-sep	10,8878	10,3391	2,1	2,06	1,27	1,8818825	10,0138	3,15%	1,822672651	376,6968	87,08 Kp/cm2	26-sep			
Ka NaOH- oo	50%	50%			14%	5	9,7%			21-sep	11,6362	10,9664	2,11	2,04	1,33	1,9155779	10,6053	3,29%	1,852502038	336,6936	78,22 Kp/cm2	26-sep			
Ka14P															1,8951	0,0555269	2,9%			180,37 Kp/cm2	±1,079 kp/cm2	6%			
Ka14P1 o	50%	50%			14%	9,1%	6			05-sep	11,5453	10,8982	2,07	2,06	1,35	1,8931431	10,5841	2,88%	1,83858029	750,06	175,90 Kp/cm2	10-oct			
Ka14P2 oo	50%	50%			14%	8,8%	6			05-sep	11,2415	10,6228	2,06	2,04	1,26	2,0061854	10,3344	2,71%	1,951719199	808,4	192,37 Kp/cm2	10-oct			
Ka14P3 ooo	50%	50%			14%	9,9%	7			05-sep	11,7691	10,9988	2,15	2,06	1,26	1,9709204	10,7127	2,60%	1,919652937	858,4	193,81 Kp/cm2	10-oct			
Ka14P4 ooo	50%	50%			14%	9,9%	7			05-sep	11,8683	11,1135	2,08	2,04	1,3	2,0147168	10,7953	2,86%	1,957031703	733,4	172,84 Kp/cm2	10-oct			
Ka14P4 oooo	50%	50%			14%	9,5%	7			05-sep	12,0164	11,297	2,06	2,06	1,33	2,0015989	10,978	2,82%	1,945078551	708,4	166,93 Kp/cm2	10-oct			
Ka14P1 o ht	50%	50%			14%	6,8%	6			05-sep	11,5606	10,9594	2,08	2,06	1,32	1,937681	10,8263	1,21%	1,914148251	925,1	215,90 Kp/cm2	09-nov			
Ka14P2 o ht	50%	50%			14%	8,3%	6			05-sep	11,4989	10,8582	2,13	2,05	1,27	1,9580359	10,6151	2,24%	1,914198204	950,1	217,58 Kp/cm2	09-nov			
Ka14P1 o					14%	14%				25-jul			2,02	1,95	1,95	0				200,0	50,78 Kp/cm2				
Ka14P2 oo	minades estufa				14%	14%				25-jul			2,08	1,94	1,97	0				258,4	64,03 Kp/cm2				
Ka14P3 ooo					14%	14%				25-jul	14,55		1,95	1,98	1,95	1,9325404									
Ka14P4 oooo					14%	14%				25-jul			2,05	2,02	2,03	0									
Ka14CN7Y															1,7521	0,1004303	5,7%			124,83 Kp/cm2	±1,171 kp/cm2	9%			
Ka14CN7Y +	50%	50%		7%	14%	7,0%	1			09-nov	11,0012	10,6113	2,1	2,09	1,38	1,7519589	10,2801	3,12%	1,697276789	417	94,94 Kp/cm2	12-nov			
Ka14CN7Y ++	50%	50%		7%	14%	7,7%	1			09-nov	10,5520	10,1881	2,14	2,05	1,28	1,8143271	9,7942	3,87%	1,744180248	522	118,92 Kp/cm2	12-nov			
Ka14CN7Y o	50%	50%		7%	14%	5,6%	1			14-oct	10,7777	10,3879	2,08	2,08	1,36	1,7654775	10,2028	1,78%	1,734018774	575	132,92 Kp/cm2	12-nov			
Ka14CN7Y oo	50%	50%		7%	14%	5,7%	1			14-oct	10,9569	10,5811	2,08	2,06	1,36	1,8157722	10,3645	2,05%	1,778602474	580	135,37 Kp/cm2	12-nov			
Ka14CN7Y ooo	50%	50%		7%	14%	1,4%	1			14-oct	10,0226	9,7188	2,09	2,08	1,28	1,7465984	9,8840196	1,70%	1,776290558	0	0,00 Kp/cm2				
Ka14CN7Y oooo	50%	50%		7%	14%	6,9%	1			14-oct	11,2500	10,7414	2,08	2,06	1,36	1,8432805	10,5257	0,50%	1,806265239	608	141,99 Kp/cm2	12-nov			
Ka14CN7Y oooo	50%	50%		7%	14%	4,3%	1			14-oct	11,4573	10,9449	2,07	2,06	1,39	1,846543	10,9886796	0,40%	1,853929199	0	0,00 Kp/cm2				
Caolinita Cañada de Verich SERIES INCORRECTAS																									
Ka14CN7Y o				7%	14%	14%				25-jul		12,8838													
Ka14CN7Y oo	s laminació				7%	14%	14%			25-jul		11,6998	2,04	2,06	2,07	1,3449641				139,211136	33,13 Kp/cm2	07-ago			
Ka14CN7Y ooo				7%	14%	14%				25-jul		10,5457	2,07	2	2,1	1,212986				111,6756	26,97 Kp/cm2	07-ago			
Ka14CN7Y oooo										25-jul										27,9189					

Tabla 7 Datos Experimentales Fisicos Microprobetas de Caolinita

nº Muestra	arcilla	arena	cal	%	cemento gr.	%	agua a.	agua a.	relación	Fecha	Peso	Peso natural	dimensiones	Densidad	Ps.Peso seco	HR%	γ max	Prensa	± Compresión	Fecha rotura
			o yeso			relación %	a/c	a/c+<80μ	Fabric.	fabricación	a dos días	largo	ancho	alto	aparente		densidad seca	1,11	Kp/cm2	
I.P. probeta experimental.						P-450Molins		respecto a todo									gr/cm3	coef.corrector		Curado 4h a 60°/100%HR
						CN.natural collect	1,5% en peso de NaOH								48h.estufa 60°C+20' a 105°C		aparente		2 Días secado al aire	
P y largo						ESTABILIZACION.DOSIFICACION									19.58 Kp/cm2		1,6668	4 mmx3 min	condiciones de laboratorio 20° 60%HR	
								en peso				MEDIDAS MUESTRA tras secado			diferencia de pesos <0.5%	Tensión de fabricación		kP/CM2		
nº	%	%	grs	%	grs	%	a.	a:	a/c+<80μ		Pn			Δv	Ps.		Ds	kP	s+	

HALL	25	25	3,5		7+3,5	7	7	7						1,5851	0,0455237	3%		38,13 Kp/cm2	±1,85 kP/cm2	4,86%		
HALL	50%	50%				14%	5	9%		09-sep	10,2684	9,6813	2,08	2,06	1,49	1,5164107	#DIV/0!	0	41,67	9,73 Kp/cm2	11-sep	
HALL	50%	50%				14%	7	14%		09-sep	10,6158	9,5988	2,09	2,07	1,49	1,4890663	#DIV/0!	0	45,0036	10,40 Kp/cm2	11-sep	
HALL	50%	50%				14%	9	16%		09-sep	11,3169	9,9565	2,07	2,06	1,49	1,56705	#DIV/0!	0	41,67	9,77 Kp/cm2	11-sep	
HALL	50%	50%				14%	7	12%		09-sep	10,5900	9,7037	2,03	2,07	1,49	1,5498323	4,25%	1,538192294	148,3452	35,30 Kp/cm2	11-sep	
HALL	50%	50%				14%	5	9%		09-sep	10,6158	9,7706	2,07	2,06	1,46	1,5693898	4,28%	1,557516193	165,0132	38,70 Kp/cm2	11-sep	
HALL	50%	50%				14%	9	16%		09-sep	11,3169	9,9014	2,02	2,06	1,49	1,5969516	4,18%	1,586627999	158,346	38,05 Kp/cm2	11-sep	
HALL							11	19%		09-sep	11,8433	10,3165	2,05	2,01	1,51	1,6580801	4,23%	1,646386242	166,68	40,45 Kp/cm2	11-sep	
																media	desviación estándar de las densidades					
HALL NaOH-	25	25	3,5		7+3,5	7	7	7						1,572	0,0324881	2%		32,25 Kp/cm2	±3,73 kP/cm2	11,56%		
HALL NaOH-	50%	50%				14%	12,5	21,9%		16-sep	11,4768	9,952	2,07	2,1	1,46	1,5680788	9,4456	5,36%	1,539218658	100,008	23,01 Kp/cm2	18-sep
HALL NaOH-	50%	50%				14%	13,0	22,8%		16-sep	11,5551	10,0162	2,08	2,05	1,48	1,5871723	9,5129	5,29%	1,559307754	115,0092	26,97 Kp/cm2	18-sep
HALL NaOH-	50%	50%				14%	13	22,8%		16-sep	10,0553	8,6735	2,07	2,08	1,27	1,5861965	8,2185	5,54%	1,563013492	163,3464	37,94 Kp/cm2	18-sep
HALL NaOH-	50%	50%				14%	13	22,8%		16-sep	10,1774	8,7985	2,09	2,06	1,28	1,5965597	8,329	5,64%	1,571239062	166,68	38,71 Kp/cm2	18-sep
HALL NaOH-	50%	50%				14%	13	22,8%		16-sep	10,5388	9,0785	2,09	2,05	1,3	1,6299362	8,5854	5,74%	1,601798558	148,3452	34,62 Kp/cm2	18-sep
							12,5															
																media	desviación estándar de las densidades					
HALL 14P	25	25	3,5		7+3,5	7	7	7						1,6402	0,136791	8%		36,44 Kp/cm2	±3,51 kP/cm2	9,64%		
HALL 14P	50%	50%				14%	7,00	14%		16-sep	11,2806	9,7747	2,08	2,06	1,46	1,8032203	9,3111	4,98%	1,540091912	125,01	29,18 Kp/cm2	18-sep
HALL 14P	50%	50%				14%	12,23	24,5%		16-sep	11,2369	9,7591	2,08	2,04	1,44	1,8390372	9,3112	4,81%	1,578113856	150,012	35,35 Kp/cm2	18-sep
HALL 14P	50%	50%				14%	10,00	20%		16-sep	10,5071	9,5075	2,06	2,04	1,42	1,7607477	9,1358	4,07%	1,586790445	150,012	35,70 Kp/cm2	18-sep
HALL 14P	50%	50%				14%	10,00	20%		16-sep	10,7292	9,6459	2,03	2,02	1,41	1,8556703	9,1953	4,90%	1,650314815	186,6816	45,53 Kp/cm2	18-sep
									%real													
																media	desviación estándar de las densidades					
HALL14CN7Y	25	25	3,5		7+3,5	7	7	7						1,5619	0,0521214	3%		45,18 Kp/cm2	±3,90 kP/cm2	8,63%		
HALL14CN7Y	50%	50%				14%	26%	1,7416	20%	16-sep	10,3654	9,3339	2,06	2,05	1,42	1,5565165	8,6238	8,23%	1,490289735	158,346	37,50 Kp/cm2	18-sep
HALL14CN7Y	50%	50%				14%	15%	1,9969	22%	16-sep	10,9617	9,476	2,08	2,04	1,43	1,5616925	8,9648	5,70%	1,530410176	180,0144	42,42 Kp/cm2	18-sep
HALL14CN7Y	50%	50%				14%	30%	11,0024	#DIV/0!	16-sep	11,0024	9,6468	2,06	2,07	1,44	1,5559194	0	#DIV/0!	1,555919423	211,6836	49,16 Kp/cm2	18-sep
HALL14CN7Y	50%	50%				14%	26%	1,6732	19%	16-sep	10,5783	9,132	2,03	2,02	1,41	1,5794264	8,9051	2,55%	1,598231538	211,6836	51,62 Kp/cm2	18-sep
HALL14CN7Y	50%	50%				14%	30%	1,3095	13%	16-sep	11,2924	9,8867	2,08	2,07	1,41	1,6285405	9,9829	-0,96%	1,703306116	116,676	27,10 Kp/cm2	18-sep

Tabla 8 Resultados experimentales de las series de microprobetas de la Halloisita

n° Muestra	arcilla	arena	cal	%	cemento gr.	%	aigua a.	aigua a.	relación	Fecha	Peso	Peso natural	dimensiones			Densidad	Ps. Peso seco	HR%	γ max	Prensa	σ.Compresión	Fecha rotura
			o yeso				relación %	a/c	a/c<80μ	Fabric.	fabricación	a dos días	largo	ancho	alto	aparente			densidad seca	1,11	Kp/cm².	
M.P. probeta experimental.					P-450Molins		respecto a todo												g/cm3	coef.corrector		Curado 4h a 60°/100%dlr
					CN.natural collet		1.5% en peso de NaOH												aparente			2 Días secado al aire
					ESTABILIZACION.DOSIFICACION														19.58 Kp/cm2	1,6668	4 mm/mín	condiciones de laboratorio 20° 60%dlr
																			re (Actim C-642-81)			
p y largo																			Tensión de fabricación			kP/CM2
m°	%	%	grs	%	grs	%	a.	a:	a/c<80μ			Pn			Δv	Ps.			Ds	kP	s+	
ILL	E	25	25			0	5.5	5.5							1.9807	0,014597	1%			96,57 Kp/cm2	±1,83 Kp/cm2	2%
ILL'	o	50%	50%			0%	8,1%	5		01-oct	11,4944	10,8129	2,11	2,06	1,28	1,943491	10,56	2,30%	1,973271926	410,0	94,33 Kp/cm2	04-oct
ILL'	o o					0%	8,1%	5		01-oct	11,4998	10,8198	2,09	2,05	1,29	1,9576244	10,57	2,30%	1,988138924	423,4	98,81 Kp/cm2	04-oct
ILL	o o d									01-sep		7,0377	2,03	1,52	1,41	1,6666367	6,9216	1,68%	1,671603035	140,0	45,38 Kp/cm2	04-sep
ILL	o	50%	50%			0%	9%	5,5		01-sep		5,6585	2,28	2,09	0,71	1,6724835	5,5192	2,52%	1,739266352	826,7	173,49 Kp/cm2	04-sep
ILL	o o									01-sep		6,8734	2,15	2,01	0,87	1,8281753	6,7126	2,40%	1,891030381	556,7	128,82 Kp/cm2	04-sep
ILL NaOH-	E	25	25		7	7	5.5	5.5							2,0375	0,0240395	1,2%			127,64 Kp/cm2	±4,30 Kp/cm2	3%
ILL NaOH-	o	50%	50%			14%	14%	1		01-sep		11,9297	2,3	2,08	1,25	1,9949331	11,6648	2,27%	2,021629116	590,0	123,34 Kp/cm2	04-sep
ILL NaOH-	o o									01-sep		10,4742	2,25	2,1	1,1	2,0152381	10,2415	2,27%	2,053433584	623,4	131,93 Kp/cm2	04-sep
																				media	desviación estándar	
ILL14P															media	desviación estándar de las densidades				208,63 Kp/cm2	±49,87 Kp/cm2	24%
ILL14P										02-sep					1,932	0,0767496	4%			247,10 Kp/cm2	±6,05 Kp/cm2	2%
ILL14P	o o	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		9,4341	2,09	2,11	1,16	1,8442243	9,028	4,50%	1,840389246	1060,1	240,39 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	o o o	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		10,002	2,19	2,05	1,18	1,9205733	9,5397	4,85%	1,908772225	1145,1	255,06 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	o o o d	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		10,8379	2,09	2,06	1,3	1,9363697	10,3318	4,90%	1,917906375	878,4	204,02 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	xx	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		13,7708	2,06	2,06	1,67	1,9431586	13,2475096	3,8%	1,926402758	845,1	199,14 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	o o o o	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		8,8587	2,14	2,08	1,03	1,9322159	8,4928	4,31%	1,941328574	1306,8	293,58 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	o o o o o	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		10,1916	2,11	2,05	1,16	2,0311784	9,7119	4,94%	2,02012239	1063,4	245,85 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	x	50%	50%			14%	14%	1		02-sep		13,6721	2,06	2,03	1,61	2,0307015	13,183	3,71%	2,021096178	845,1	202,08 Kp/cm2	07-ago
ILL14P	x	50%	50%			14%	14%	1		09-abr		13,6721	2,05	2,03	1,45	2,2657778	11,45	19,41%	1,965943674	446,7	107,34 Kp/cm2	13-abr
																					media	desviación estándar de las densidades
ILL14CN7Y		25	25	3,5	7+3,5	7	7	7							1,8987	0,0676789	4%			85,73 Kp/cm2	±10,06 Kp/cm2	11,74%
ILL14CN7Y	o	50%	50%	7%		14%	#DIV/0!	5		04-sep	10,6800	10,2481	2,07	2,07	1,2	1,9930648				91,7	21,39 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o o	50%	50%	7%		14%	7%	6		04-sep	10,7713	10,3794	2,08	2,08	1,32	1,8174884	10,0587	3,19%	1,828572613	231,7	53,55 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o o o	50%	50%	7%		14%	7%	7		04-sep	10,7764	10,7674	2,054	2,06	1,34	1,8990587				343,4	81,15 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o o o d	50%	50%	7%		14%	7%	7		04-sep	11,3080	10,9539	2,07	2,07	1,37	1,8659823	10,5262	4,06%	1,859649811	531,7	124,09 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o o d	50%	50%	7%		14%	6%	5		04-sep	11,0594	10,8386	2,01	2,07	1,3	2,0038418	10,4378	3,84%	2,007690073	350,0	84,13 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o o o o							9		04-sep	11,5029	12,1573	2,28	2,24	1,38	1,7402097				60,0	11,85 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o o o o o							9		04-sep	11,6431	11,4642075	2,27	2,26	1,55	1,4642075				78,3	15,27 Kp/cm2	08-sep
ILL14CN7Y	o	50%	50%	7%		14%	5%	5		02-oct	11,0585	10,6233	2,06	2,04	1,34	1,886502	10,5358	0,83%	1,94343852	0,0	0,00 Kp/cm2	
ILL14CN7Y	o o	50%	50%	7%		14%	7%	5		02-oct	11,2109	10,7714	2,07	2,05	1,34	1,8942755	10,5033	2,55%	1,917959056	0,0	0,00 Kp/cm2	

Tabla 10 Datos Experimentales Físicos Microprobetas de Illita

n° Muestra	arcilla	arena	cal	%	cemento gr.	%	aigua a.	aigua a.	relación	Fecha	Peso	Peso natural	dimensiones			Densidad	Ps.Peso seco	HR%	γ max	Prensa	%.Compresión	Fecha rotura
			o yeso				relación %	a/c	a/c<30μ	Fabric.	fabricación	a dos días	largo	ancho	alto	aparente			densidad seca	1,11	Kp/cm2.	
4.P probeta experimental.					P-450Molins		respecto a todo												gr/cm3	coef.corrector		Curado 4h a 60°/100%4hr
					CN.natural collet		1,5% en peso de NaOH												aparente			2 Dias secado al aire
					ESTABILIZACION.DOSIFICACION														19,58 Kp/cm2	1,6668	4 mm/mín	condiciones de laboratorio 20° 60%4hr
							en peso												ref ASTM C-642-81			
b y largo																						
n°	%	%	grs	%	grs	%	a.	a:	a/c<30μ			Pn				Δv	Ps.		Ds	kP	s+	
	25	25			7	7									1,8559	0,0566911	3%			79,34 Kp/cm2	=6,94 Kp/cm2	9%
MON	50%	50%				14%	14%	3,2		11-sep	10,9300	10,4847	2,05	2,04	1,3	1,9285399	9,5722	9,53%	1,831439177	273,3552	65,36 Kp/cm2	16-sep
MON	50%	50%				14%	14%	3,6		11-sep	10,9202	10,4750	2,05	2,04	1,28	1,9568613	9,5663	9,50%	1,860076687	356,6952	85,29 Kp/cm2	16-sep
MON	50%	50%				14%	13%	4,8		11-sep	10,8997	10,5631	2,04	2,02	1,3	1,9718165	9,6563	9,39%	1,876088004	360,0288	87,37 Kp/cm2	16-sep
MON	50%	50%				14%	14%	1														
MON	50%	50%				14%	14%	1														
MON NaOH															2,1044	0,1261851	6%			144,89 Kp/cm2	=2,95 Kp/cm2	2%
MON NaOH	50%	50%				14%	15%	17		11-sep	10,3241	9,9383	2,04	2,05	1,01	2,3529175	9,0102	10,30%	2,244794236	623,3832	149,06 Kp/cm2	08-ago
MON NaOH	50%	50%				14%	18%	17,5		11-sep	5,7291	5,4311	2,3	2,04	0,64	1,8086304	4,8717	10,30%	1,744316592		0,00 Kp/cm2	
MON NaOH	50%	50%				14%	17%	16,5		11-sep	4,3707	4,1629	2,18	2,05	0,49	1,9010325	3,7341	10,30%	1,88608931		0,00 Kp/cm2	
MON NaOH	50%	50%				14%	16%	14		11-sep	7,6563	7,3548	2,16	2,04	0,61	2,0606391	6,5972	10,30%	1,963933883	620,0496	140,72 Kp/cm2	
MON NaOH	50%	50%				14%	14%	1											0	360,0288	81,71 Kp/cm2	
MON14P	25	25	0,75 grms sosa		7		17%	9							1,9284	0,0707221	4%			206,72 Kp/cm2	=20,48 Kp/cm2	10%
MON14P	50%	50%				14%	13,8%	9		18-sep	7,6635	7,3568	2,21	2,04	0,84	1,9426172	6,73	9,24%	1,88	1275,102	282,83 Kp/cm2	27-sep
MON14P	50%	50%				14%	12,9%	9		18-sep	11,4477	11,0424	2,04	2,04	1,34	1,9801511	10,14	8,94%	1,89	775,062	186,24 Kp/cm2	27-sep
MON14P	50%	50%				14%	13,2%	9		18-sep	10,9717	10,5788	2,23	2,02	1,14	2,0600384	9,69	9,14%	1,97	1023,4152	227,19 Kp/cm2	27-sep
MON14P	50%	50%				14%	9,6%	9		18-sep	10,4638	10,2075	2,08	2,06	1,21	1,9688084	9,55	6,92%	1,92	1283,436	299,53 Kp/cm2	09-nov
MON14CN7Y	25	25	3,5		7	7									1,7774	0,0952873	5%			164,32 Kp/cm2	=15,67 Kp/cm2	10%
MON14CN7Y	50%	50%		7%		14%	13%	1		18-sep	10,3960	9,9565	2,04	2,06	1,24	1,9106785	9,19	10,30%	1,84	1000,08	237,98 Kp/cm2	27-sep
MON14CN7Y	50%	50%		7%		14%	12%	1		18-sep	10,2586	9,918	2,06	2,03	1,3	1,8243892	9,12	10,30%	1,75	616,716	147,48 Kp/cm2	27-sep
MON14CN7Y	50%	50%		7%		14%	12%	1		18-sep	10,4901	10,169	2,1	2,08	1,27	1,8331242	9,33	10,30%	1,75	700,056	160,27 Kp/cm2	27-sep
MON14CN7Y	50%	50%		7%		14%	14%	1		18-sep	10,6451	10,1958	2,05	2,05	1,26	1,9254979	9,35	9,03%	1,84	778,3956	185,22 Kp/cm2	27-sep

Tabla 11 Datos Experimentales Físicos Microprobetas de Montmorillonita

Complementariedad con el ensayo a flexión

Para la flexión según la [UNE 7064](#), no se podrían utilizar las mismas probetas, debiendo de tener entonces 10 cm de longitud (2,5 veces el grosor), apoyadas por 2,5 cms. en los extremos. Las lecturas de un mismo material no podrán diferir en más de un 15%.

El valor del cálculo a flexión vendrá dado por los 2/3 de la carga de rotura (valor medio de las diversas probetas) por la longitud de la probeta (12,5 cm.)y partido por el ancho y el espesor medio al cuadrado(5,3 cm.). La ASTM 1634 determina el aprovechamiento de los trozos de los ensayos a flexión para la ejecución del ensayo a compresión, para tamaño >25mm. Se establecen una medida estándar de probeta de 76x76x240 mm, con una rotura a 0.02mm/s, con una precisión media entre el 7-8%.

Resistencias de la serie complementaria de las Illitas con adiciones activas.

Tal como se ha expuesto en los Antecedentes existe un sin fin de sistemas de estabilización de las arcillas. Las limitaciones de la propia Tesis no posibilitan el estudio de todos ellos en interacción con arcillas puras. Pero es de interés complementar las series de microprobetas, elaboradas con los cuatro estabilizantes básicos, con el estudio de los efectos estabilizantes producidos por una serie de adiciones activas. Éstas son subproductos de gran interés para revalorizar y reciclar, por el consiguiente beneficio medioambiental obtenido. La serie de adiciones consiste en:

-El polvo cerámico, denominado con el código T. Elemento ya usado por los romanos por sus propiedades de hidraulicidad en combinación con la cal. Ello se debe a la gran cantidad de sílice soluble activa formada en las estructuras más amorfas, originadas en los procesos de ceramización y mullitización a bajas temperaturas. Al contrario el polvo cerámico pierde su actividad cuando se dan estructuras más ordenadas y cristalizadas, propias de la gresificación y/o la clinkerización a los 1400^a-1650°C.

Muestra	Guix	Argiles	Quars	Halita	Feld.K	Plagioclasi	Calcita	Hematites		
P1	0,0	26,6	32,2	0,0	4,0	10,4	27,7	0,0		
P5	0,0	26,6	29,0	0,0	4,6	8,8	26,7	2,1		
P2	0,0	22,4	21,8	0,2	2,3	4,4	49,1	0,0		
P6	0,0	27,3	22,6	0,0	2,3	5,3	41,3	1,2		
P3	0,0	30,8	17,0	0,4	2,3	6,0	43,5	0,0		
P7	1,3	33,7	22,2	0,0	1,8	6,0	38,7	1,3		
P4	12,4	18,4	28,9	0,0	2,2	4,3	38,0	1,3		
P8	13,0	18,3	20,6	0,0	6,7	5,4	35,1	0,9		
Anàlisi mineralògic de la superfície de la ceràmica										
	lo/lq	lsw/lq	lsw/lq	lsw/lq						
9	1,00	0,79	0,47	0,14						
10	1,00	0,99	0,94	0,08						
10-bis	1,00	1,13	0,64	0,38						
elements	1P	5P	2P	6P	3P	7P	4P	8P	9P	10P
Na ₂ O	1,02	0,96	0,82	0,73	0,83	0,80	2,65	0,71	0,90	0,85
MgO	2,02	2,30	2,36	2,54	2,68	2,93	2,09	2,20	2,38	2,39
Al ₂ O ₃	20,25	20,72	18,03	18,92	20,73	21,16	16,38	17,33	19,31	19,04
SiO ₂	54,14	52,78	49,87	48,26	49,85	49,66	48,59	49,82	50,74	50,21
P ₂ O ₅	0,16	0,23	0,20	0,22	0,17	0,23	0,16	0,20	0,20	0,27
K ₂ O	3,88	4,06	3,79	4,03	4,27	4,30	3,47	3,58	3,95	3,96
CaO	9,65	9,96	16,87	15,82	12,44	11,94	19,17	18,17	13,24	14,70
TiO ₂	0,87	0,96	0,79	0,85	0,83	0,95	0,74	0,78	0,84	0,90
MnO	0,00	0,00	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,11
Fe ₂ O ₃	8,01	8,01	7,33	7,49	8,41	8,02	6,75	7,22	7,78	7,55
	1P	5P	2P	6P	3P	7P	4P	8P		
Sals sol.										
Cl	845	1317	567	617	543	514	681	421		
SO ₃	310	954	178	596	741	1603	19605	15223		

Tabla 12 Composición arcillas muestra T, procedentes de Almacelles (Lleida)

-Las cenizas volantes (Z), residuo también muy rico en sílice activa soluble, procedente de las centrales térmicas.

-El Paval (Pav), un polvo blanco-grisáceo muy fino, que es subproducto de la fabricación del aluminio, por lo que es muy rico en alumina. Esta clase de adición es muy interesante, sobre la base de facilitar la formación de fases ACH, aluminatos cálcicos, de gran resistencia inicial, en combinación con la cal presente de las mismas arcillas, del cemento, o añadida expresamente en proporción al Paval utilizado.

Este estudio complementario se ha efectuado con las Illitas, al ser un grupo de arcillas de características intermedias.

La dosificación de las muestras se ha hecho duplicando el peso de adición activa respecto a la cal presente, en orden a obtener el máximo de estructuras resistentes.

En la página siguiente se pueden observar los resultados experimentales obtenidos.

n° Muestra		arcilla pura	arena Normalizada grs	cal o yeso gr.	%	cemento gr.	%	agua a.	agua a.	relación	Fecha
M.P Microprobetas con Arcillas Puras 50% de Illita Pura								relación %	a/c	a/c+<80μ	
n°				c.grs	%	c.grs		respecto a todo 1,5% en peso de NaOH			
								ESTABILIZACION.DOSIFICACIÓN			
								en peso			
							%	a.	a:	a/c+<80μ	
ILL28T 14Ca	Al curarías presentan microfisuración radial	50%	50%	2,80	14%		14%	6%	2,5	sosa 0,45	09-nov
ILL28T 14Ca	Al curarías presentan microfisuración radial	50%	50%	2,80	14%		14%	6%	2,5	sosa 0,45	09-nov
ILL14P28Pav		50%	50%		14%	2,8	14%	8%	2,5	sosa 0,45	09-nov
ILL14CN7Y28Pav		50%	50%	2,80	14%		14%	9%	2,5	sosa 0,45	09-nov
ILL14Ca28Z		50%	50%	2,80	14%		14%	7%	2,5	sosa 0,45	09-nov
ILL14Ca28Z		50%	50%	2,80	14%		14%	6%	2,5	sosa 0,45	09-nov

n° Muestra	Peso fabricación	Peso natural	dimensiones			Ps.Peso seco	HR%	γ max densidad seca gr/cm3 aparente	Prensa 1,11 coef.corrector	⊖ Compresión Kp/cm2. 4mmxmin kP/CM2 s+
			largo	ancho	alto					
n°			MEDIDAS MUESTRA tras secado			48h.estufa 60°C+ 20' a 105°C	ref.Astm C-642-81	19,58 Kp/cm2	1,6668	
						diferencia de pesos <0,5%	Tensión de fabricación			
						Ps.			kP	
ILL28T 14Ca	10,46	10,21	2,2	2,15	1,46	9,88	3,31%	1,48	276,7	58,50 Kp/cm2
ILL28T 14Ca	10,68	10,49	2,2	2,17	1,5	10,09	3,98%	1,45	235,0	49,23 Kp/cm2
ILL14P28Pav	11,30	10,88	2,16	2,06	1,27	10,44	4,20%	1,92	740,1	166,32 Kp/cm2
ILL14CN7Y28Pav	11,12	10,64	2,12	2,07	1,34	10,24	3,85%	1,81	508,4	115,84 Kp/cm2
ILL14Ca28Z	10,34	10,06	2,08	2,06	1,25	9,69	3,73%	1,88	893,4	208,51 Kp/cm2
ILL14Ca28Z	10,21	9,94	2,05	2,04	1,29	9,60	3,46%	1,85	795,1	190,12 Kp/cm2

Interpretación de resultados

En primer término se comparan los resultados de la media de valores, a rotura por compresión simple, a partir de una población de 12 muestras de las diferentes mezclas de arcillas puras con diferentes estabilizantes.

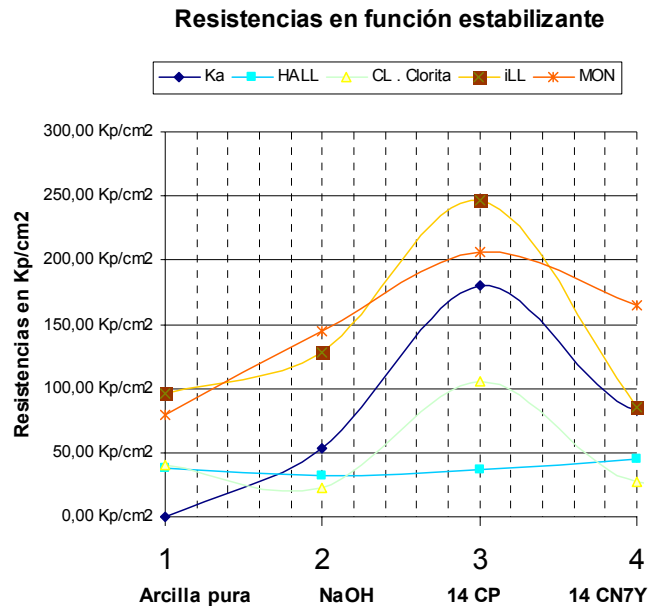


Tabla 13 Resistencias microprobetas del Grupo I en función del tipo de estabilizante empleado. Relación arena estandar/arcilla 1/1

De ésta podemos deducir que la resistencia de las arcillas en estado puro es bastante similar, a parte de las illitas y Montmorillonitas que duplican y triplican su resistencia respectivamente. Esto reafirma la hipótesis de aglomeración de que estas estructuras tienen la capacidad máxima de intercambio iónico y reacción, debido al tamaño y disposición de sus partículas.

Cuando se utiliza sosa, como defloculante y estabilizante, el comportamiento de cada arcilla empieza a diferir más entre sí. En las Cloritas y Halloysitas se da un ligero descenso de resistencias de un 44% y un 16% (-2 y -0.7 Kp/cm²) respectivamente, mientras en las Illitas y las Caolinitas se aumenta de forma muy parecida, en un 32% y un 54%.

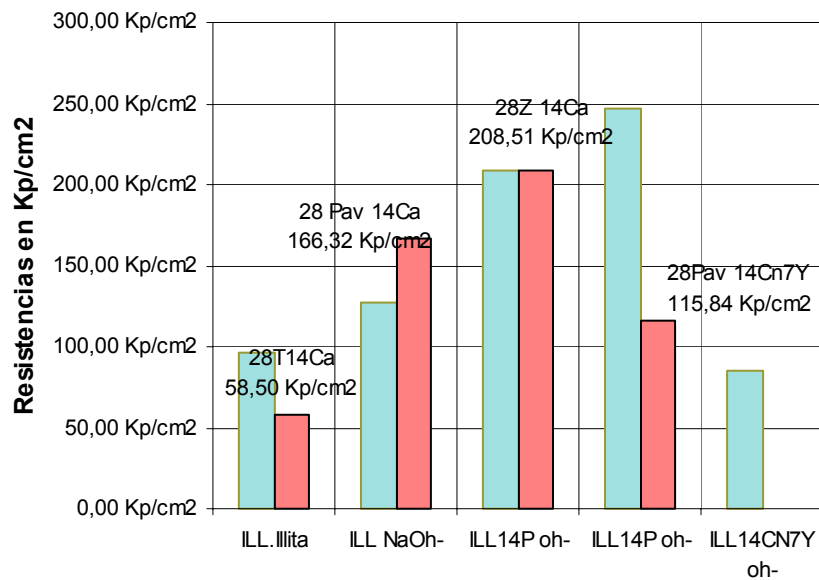
En cuanto a la serie de Illitas con adiciones activas se obtienen resultados interesantes con las adiciones del 28% de Paval (Pav) y de Cenizas Volantes (Z) con el 14% de Cal aérea, ya que las resistencias obtenidas son equiparables a la Illita con una estabilización del 14 por

ciento del cemento Pórtland. Esto se fundamenta en la interacción de la sílice y la alúmina amorfa solubles, procedentes de las adiciones activas, con la cal añadida. Esto genera fases SCH, silicatos cálcicos, y ACH, aluminatos cálcicos, como en el proceso de endurecimiento propio del cemento Pórtland.

La estabilización con cemento natural y yeso mejora notablemente con la inclusión de Paval, aunque no alcanza los valores obtenidos con el mínimo aditivo del 1.5% de sosa cáustica.

La estabilización con polvo de ladrillo y cal da el peor resultado. El origen podría encontrarse en la baja actividad puzolánica del polvo utilizado Por ello la cal sola no reaccionaría con la Illita debido a la presencia de iones K^+ no intercambiables que continúan manteniendo las uniones. A su vez la gran porosidad y avidez en agua de la cerámica da microprobetas con una densidad por debajo del resto, con la consiguiente pérdida de resistencia.

Resistencias Grupo Illitas



Código	Composición Microprobeta Grupol	Incremento %
		respecto la muestra sin estabilizar
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	237%
Ka NaOH-	Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0	54%
Ka14CN7y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0	133%
CL NaOh-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa PF=0	-44%
CL14P oh-	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland PF=0	164%
CL14CN7Y' oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso	70%
ILL NaOh-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa	32%
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland	116%
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland	156%
ILL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso	-11%
ILL28T 14Ca	Micro. 50% illita con 28% polvo cerámico 14% cal	-39%
ILL14P28Pav	Micro. 50% illita con 28% Paval y 14% cal	72%
ILL14CN7Y28Pav	Micro. 50% illita con 28% Paval y con 14% c.natural y 7% yeso	20%
ILL14Ca28Z	Micro. 50% illita con 28% Cenizas volantes y 14% cal	116%
HALL NaOh-	Microprobeta 50% Halloisita pura con 1,5% sosa	-15%
HALL14P oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.portland	-4%
HALL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.natural y 7% yeso	18%
MON NaOh-	Microprobeta 50% Montmorillonita con 1,5% sosa	83%
MON14P	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland	161%
MON14CN7Y	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso	107%

Sí se analiza numéricamente los datos anteriores obtenemos la siguiente tabla que expresa los incrementos de resistencia por cada tipo de arcilla y estabilizante empleados, respecto a la muestra de arcilla pura al 50% con arena estándar.

En ésta los incrementos negativos obtenidos son indicativos de la ineficacia del estabilizante ante la arcilla presente.

De este apartado se puede concluir con un cuadro sobre la efectividad de la estabilización en las arcillas del Grupo I:

Arcillas	Estabilizantes en orden a su rendimiento para incrementar la resistencia.				
	Caolinita	C.Portland	Cemento Natural y yeso	Sosa cáustica	
	Pórtland	Cemento Natural y yeso	Sosa	Cal aérea	

Montmorillonita			cáustica		
Halloisita	Cemento Natural y yeso				No utilizar sosa, cemento natural y yeso
Clorita	C.Portland	Cemento Natural y yeso			No utilizar sosa
Illita	C.Portland	Cenizas volantes y cal	Sosa cáustica	Cemento Natural y yeso	Paval y cal No utilizar cal sola

Código	Incremento % respecto la muestra sin estabilizar	Densidades medias Desv.estándar			
Ka14P	237%	MON NaOh-	2,10	0,13	6,0%
CL14P oh-	164%	Ka14CN7y	2,10	1,21	0,0%
MON14P	161%	ILL NaOh-	2,04	0,02	1,2%
ILL14P oh-	156%	ILL.Illita	1,98	0,01	0,7%
Ka14CN7y	133%	Ka	1,95	0,01	0,6%
ILL14Ca28Z	116%	Ka14P	1,93	0,03	0,0%
MON14CN7Y	107%	ILL14P oh-	1,93	0,08	4,0%
MON NaOh-	83%	MON14P	1,93	0,07	3,7%
ILL14P28Pav	72%	ILL14CN7Y oh-	1,90	0,07	3,6%
CL14CN7Y' oh-	70%	Ka NaOH-	1,90	0,02	0,9%
Ka NaOH-	54%	MON	1,86	0,06	3,1%
ILL NaOh-	32%	MON14CN7Y	1,78	0,10	5,4%
ILL14CN7Y28Pav	20%	CL14P oh-	1,78	0,09	4,9%
HALL14CN7Y oh-	18%	CL NaOh-	1,76	0,08	4,4%
HALL14P oh-	-4%	Ka14CN7y	1,75	0,10	5,7%
ILL14CN7Y oh-	-11%	CL . Clorita	1,66	0,06	3,3%
HALL NaOh-	-15%	HALL14P oh-	1,64	0,13	8,1%
ILL28T 14Ca	-39%	HALL.Halloisita	1,59	0,05	2,9%
CL NaOh-	-44%	HALL.Halloisita	1,59	0,05	2,9%
		HALL NaOh-	1,56	0,04	2,6%
		HALL14CN7Y oh-	1,56	0,05	3,3%
		CL14CN7Y' oh-	1,54	0,09	6,1%

Tabla 14 A la izquierda Efectividad de las estabilizaciones adoptadas en referencia a la microprobeta de arcilla sin estabilizar, la línea roja discontinua marca la zona inferior con resultados negativos. A la derecha se muestran las microprobetas en orden a las densidades obtenidas.

Al aplicar el cemento como estabilizante se obtiene una máxima efectividad en orden descendente en las Caolinitas, en las Cloritas, en las Montmorillonitas y en las Illitas. En cambio es de efectos negativos en las halloisitas.

Les siguen las estabilizaciones con Cemento natural y yeso en Caolinitas, Montmorillonitas y Cloritas, y de efecto estabilizador muy pobre en Halloisitas. En las Illitas es nulo.

Las adiciones activas y los aditivos como la sosa son muy eficaces en Montmorillonitas e illitas, con efectos muy cercanos a los anteriormente descritos.

Hay que considerar que estas resistencias obtenidas, tal como ya se comentaba en la crítica de los Antecedentes, no son enteramente proporcionales a la consecución de densidades máximas.

Tal cómo se muestra en las siguientes gráficas las densidades obtenidas no son muy elevadas, a pesar de que se ha trabajado con una granulometría compensada, una humedad óptima de compactación y una presión estándar de prensado. Con menores cantidades de agua de fabricación se producían laminaciones de las microprobetas. La propia naturaleza de las arcillas origina estas estructuras con nuevos cristales y agua interlaminar menos compactas.

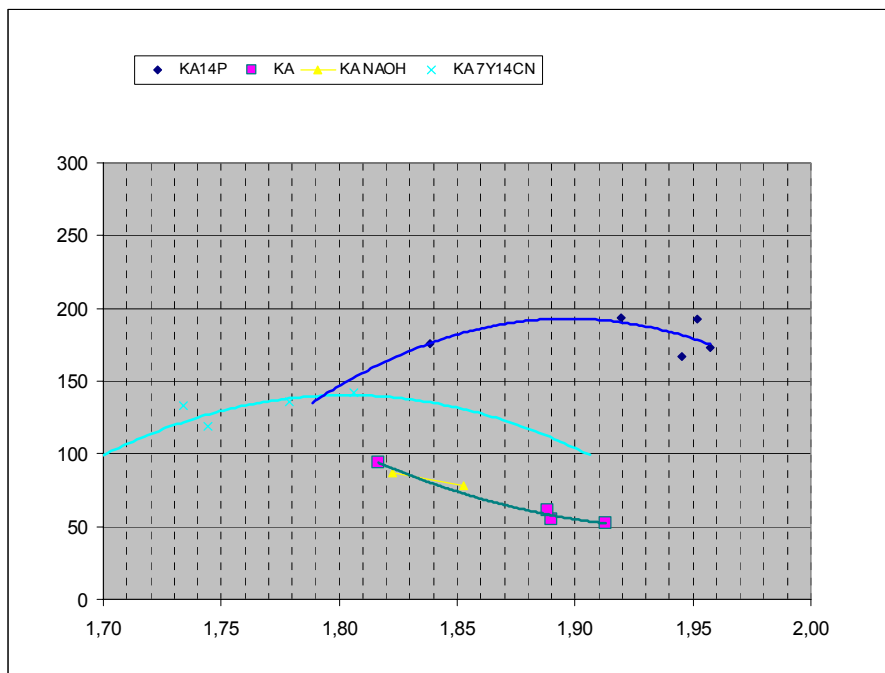


Gráfico 1 Relación densidad tn/m³ (eje X) - resistencia Kp/cm² (eje Y)

En el caso de la Caolinita las líneas de tendencia son muy suaves, encontrándose las estructuras más resistentes en las densidades cercanas a 1.8 gr/cm^3 , aunque para estabilizaciones con cemento Pórtland suba hasta 1.9 gr/cm^3 .

En la Clorita la tendencia es mucho más lineal e indiferenciada. De nuevo el cemento Pórtland da mayores densidades y resistencias, y las estabilizaciones con yeso y cemento natural dan densidades en un orden del 30% menos.

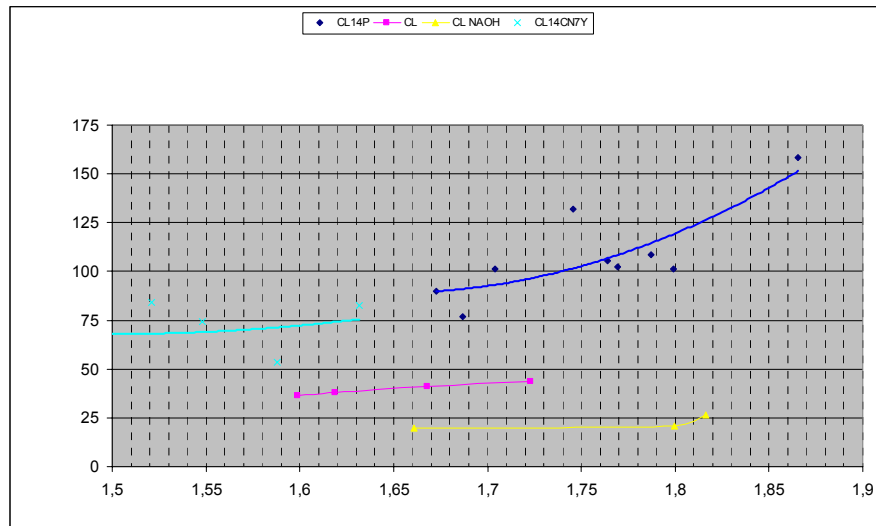
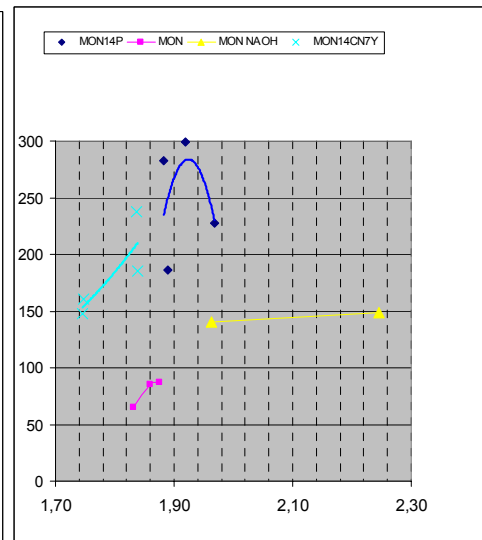
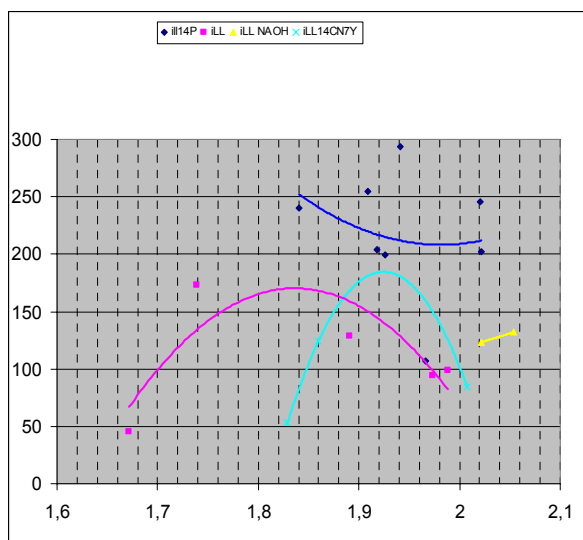


Gráfico 2 Relación densidad tn/m3 (ejeX)-resistencia Kp/cm2 (eje Y)

En Illitas y Montmorillonitas se da un comportamiento bastante similar, con densidades algo mayores que en los otros dos grupos de arcillas. Con cemento Pórtland la densidad másica aparente máxima se sitúa alrededor del 1.9 gr/cm³, y también se le acercan las que tienen yeso y cemento natural. La granulometría más fina de estas arcillas, sus uniones más débiles y su mayor intercambio catiónico facilitan su mayor distribución como matriz cementante en toda la microprobeta, dando poros con tamaños menores. También queda patente el efecto de la sosa cáustica como aditivo defloculante y que solubiliza, con su alto pH, las capas más externas de las arcillas, dando una recristalización con las densidades más altas.



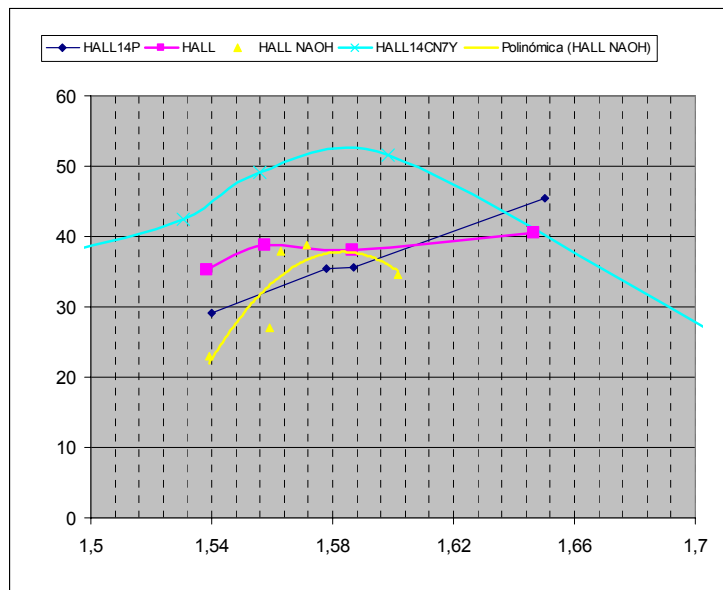


Tabla 15 Correlación entre resistencias y densidades obtenidas en cada grupo de microprobetas de arcillas del Grupo I.

Y por último cabe citar el comportamiento de las estructuras tubulares de las halloisitas, con muy baja densidad y sin ninguna reactividad ante las estabilizaciones adoptadas. La densidad máxima se encuentra alrededor de 1.58 gr/cm^3 . Únicamente el cemento natural y el yeso consiguen un mayor efecto de estabilización y resistencia mecánica.

Normas de referencia para la evaluación de la resistencia

UNE 7281 Verificación de la escala de cargas de las máquinas de ensayo de tracción. La verificación se realiza comparando distintas cargas crecientes de un dispositivo de control con las cargas registradas directamente a la máquina. Para cada escala de máquina se deben realizar dos ensayos con cargas crecientes. Cada escala de medida de la máquina debe ser verificada en la zona correspondiente a los 4/5 superiores de su parte útil y como mínimo en 5 puntos uniformemente repartidos sobre dicha zona. El punto más bajo de los verificados corresponderá a la carga mínima utilizada en la máquina. Puede verificarse por pesas, dinamómetro o palancas.

UNE 7117. Ensayo de fatiga de materiales mecánicos. La evaluación de los límites de fatiga por ciclos alternativo simétrico, alternativo asimétrico, intermitente y pulsatorio son aplicables a los armados de acero y extrapolables a los armados de bambú o cualquier otro tipo de fibra que trabaje a flexión.

UNE 7193. DIN 52 250. Determinación de la resistencia a la flexión de las tejas de arcilla cocida.

Se medirá a través de colocar la teja entre dos resaltes de 2 cms de ancho (de cemento o yeso), a una distancia de 35cms. Velocidad de carga 5 Kp/s.

UNE 7060. Determinación de la resistencia a la flexión de los ladrillos de arcilla cocida.

Se medirá a través de colocar la pieza con una luz de 16.7cms ($\sigma_f = 25Q/b.e^2$) a ser posible o un mínimo de 2.5 veces el grueso de la probeta ($\sigma_f = 3Ql/2.b.e^2$). Quedará fuera de los apoyos una longitud superior a las mitas del grueso. Velocidad de carga $<100 \text{ Kp/cm}^2$. min.

La carga Q se aplicará en el centro de la luz a través de cilindros metálicos $l=15\text{cms}$ y Diámetro= 1cm.

UNE 7059. Determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla cocida.

Se determinará sobre una partida mínima de cien piezas. Para obtener las probetas se podrán unir dos o más mitades con morteros de cemento 1/1 en peso, con junta $< 5\text{mm}$. Cuando el grueso del ladrillo sea de 9 cms o mayor, cada probeta se obtendrá por serrado de un ladrillo. Los cortes que sea preciso hacer para fabricar las probetas se realizarán con sierra o lámina y abrasivo, y cada trozo o porción no llevará más de una cara obtenida por corte. Las caras de las probetas, perforadas o no, se recubrirán con una fina capa de mortero de 5mm ,

para regularizar la superficie. tras el secado a las 48 horas, se desecaran las probetas 24h a 110°C, hasta obtener diferencias de secado <0.1% entre pesadas consecutivas cada tres horas.

UNE 7141.ASTM C231-54. Determinación del contenido de aire en el hormigón fresco, por el método de presión. Tiene por objeto describir un método para determinar la deformación elástica que experimenta un hormigón fresco, bajo una presión dada y en condiciones definidas, y comparar esta deformación con la de un volumen de aire sometida a la misma presión. Puede ser de interés para la evaluación de los hormigones fluidos de tierra.

UNE 7158. Ensayo de adherencia a bloques de mortero de los materiales, para el sellado de las juntas en los pavimentos de hormigón. Los bloques se acoplan a una máquina tipo con unas mordazas que se separan a una velocidad de 0,3 cms/h. , durante 4h. a -10°C. ± 1°. El ensayo se realiza en cinco ciclos de separación y alternándose con ensayos a compresión a temperatura ambiente. Las fisuras deberán ser menores de 6mm.
A considerar para ensayos de adherencia de BTC.

UNE 7034. Determinación de la resistencia a la flexión y al choque de los baldosines y baldosas de cemento. El esfuerzo de rotura a la flexión se determinará por la fórmula $\sigma_x = 3P L_1 / 2b h^2$ $L_1 = L-4h$. (separación entre apoyos)
L= longitud de la pieza H= espesor B= anchura
La carga se transmitirá por medio de un semicilindro de madera de 2 cms. de radio y se aplicará en el punto medio de la luz.
Ensayo de resistencia al choque. Se dejará caer una esfera con un peso de 1 Kg desde una altura creciente, hasta que la pieza rompa. Se empezará a una altura de 50cms, incrementando 10 cms. cada vez, hasta un máximo de 1,5m. Se anotará en el momento que se produzca fisuración. Se debe evitar dejar caer la bola más de una vez sobre el mismo punto. La pieza quedará fijada por pletinas metálicas, una base sólida y fieltro para amortiguar las vibraciones.

UNE 7064. Ensayos físicos de yesos y escayolas empleados en la construcción. La calidad de finura se determinará por el tamizado de 100 gr de muestra de secada < 50°C. Se emplearán los tamices de 0,2 y 0,08 en las escayolas y de 1,6, 0,2 y 0,08 para los yesos. Para medir la consistencia normal, del proceso de fraguado, se utilizará el aparato de Vicat. Este se inicia en el momento que la aguja de Vicat no penetra hasta el fondo de la pasta, y finaliza cuando la penetración de aquella no sea superior a dos mm. El ensayo a flexión se hace con 6 probetas (40x40x160mm.), secadas al aire (constancia de peso 0,1%) con una carga de 4Kp/min, con una separación de apoyos de 10,67/10cm. para flexión se aplica una carga de 300 Kp/cm³/min.

UNE 7035. Ensayo de resistencia a la flexión de las planchas lisas y onduladas de amianto-cemento. Se hace con muestras de 25x25 cms, separadas 22 cms, y se aplica una carga sobre un apoyo de 23 x 8 cms de madera redondeada, colocada en el punto central. Se aplica una carga de 45Kp/min. Previamente se han tenido las placas en inversión. Sólo se admiten para el ensayo las planchas que den un 70% de la carga media.

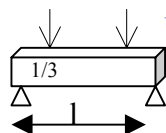
UNE 7142. Determinación de la exudación de agua en el hormigón. Se procede a medir en molde de 25x25x30 ± 1cm. , el cual se rellena en 3 capas compactadas con 25 golpes de barra. Se mide el agua rebosante a los 45 min..

UNE 83-302-84. Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo. Se aconseja probetas de 10 cms. de diámetro de altura dos veces superior. Para una relación de igual se utilizará un coeficiente corrector de 0,9.

UNE 83-300-84. Ensayos de hormigón. Toma de muestras de hormigón fresco. Las muestras se toman en el intervalo de vertido entre ¼ y ¾ de la descarga. La muestra debe estar protegida del sol, del viento y de la lluvia, transportándose hasta el molde de la probeta dentro del recipiente de toma, protegida para evitar su desecación.

UNE 7242. Ensayo de rotura por compresión de probetas de hormigón. se aconseja carga de rotura de 3-7 Kp/cm². Se hará constar la dirección de la aplicación del esfuerzo en relación a la de compactación.
Vale la pena citar la tabla de corrección respecto a los coeficientes longitud/diámetro <2:

1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.94
1.10	0.90
1.00	0.85



UNE 83-305-86. LNEC E227-1968 ;Error! No se encuentra el origen de la referencia. pág. ;Error! Marcador no definido. Ensayo de resistencia a flexión.

Se elabora a partir de apoyar la muestra por sus extremos sobre dos rodillos, presionando con prensa hidráulica por dos puntos a 1/3 de los apoyos. La tensión se expresa como $\sigma = F. l / l_1 . h^2$ siendo l_1 la distancia entre apoyos.

La ASTM 1634 determina el aprovechamiento de los trozos de los ensayos a flexión para la ejecución del ensayo a compresión, para tamaño >25mm. Se establecen una medida estándar de probeta de 76x76x240 mm, con una rotura a 0.02mm/s.

LNEC E 397/993. Norma Portuguesa para ensayo de Índice de elasticidad por extensiómetro.

ASTM C120-90 "Standard Test Methods of Flexure Testing of Slate. Para la obtención del Módulo de elasticidad será necesario tomar deformaciones cada 222N, y si la línea no pasa através del cero, se deberá corregir la gráfica con una paralela. para el cálculo se empleará la siguiente fórmula: $E=(Ql^3/4\Delta.b.e^3)$

UNE 83-313-90. Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams. En molde estandar se llenan tres capas compactadas cada una por 25 golpes de barra. Después de lisar la superficie se levanta el molde rápidamente y se mide la altura que ha descendido la muestra, con una exactitud de ± 0,5 cm..

ASTM C170-90 "Standard Method for Compressive Strength of Dimension Stone".

De esta norma sobre el ensayo de compresión sobre rocas,, un material que por sus características de heterogeneidad es cercano a la tierra, es interesante destacar y considerar las siguientes pautas para la obtención de nuestro método:

- Se contempla la posibilidad de que las probetas sean cúbicas, prismáticas o cilíndricas, siempre con una altura superior a 5.08 cms. y a una relación H/D >1/1.
- Las condiciones de estratificación de las rocas establecen la necesidad de diferenciar y duplicar los ensayos en cada dirección.
- La utilización de 5 probetas ensayo por cada condición.

Peso absorción a 1 minuto	Peso saturado (0,594Ps+P3)/1,594	W.Absorción a un minuto	W.Absorción
en agua o Cl4C	en agua	$(Pw1' - Ps) / Ps \times 100$	$((Pw - Ps) / Ps) \times 100$
Pw1'	Pw. a 48h	W1'	W.

11,54	12,32	6,85%	14,07%	Ka14P3'
12,25	12,55	10,46%	13,17%	Ka14CN7Y
13,00	13,42	14,57%	18,27%	CL14P xx
12,28	12,59	20,04%	23,07%	CL14CN7Y
8,84	9,54	4,86%	13,17%	ILL14P
15,22	15,68	44,91%	49,29%	ILL'14CN7Y
10,52	10,85	19,41%	23,16%	HALL14P
10,35	10,70	21,76%	25,88%	HALL14CN7Y
deshecho arenoso				MON14P
deshecho gelatinoso				MON14CN7Y
11,14	11,49	20,17%	23,99%	HALL14P
repetición por método con Tetracloruro de carbono				
10,22	10,21	7,11%	11,25%	MON14P
9,70	9,60	9,71%	14,23%	MON14CN7Y

Las probetas ensayadas en condiciones secas, necesitan de un secado de 48H a 60±2°C hasta la obtención de peso constante. para la rotura en estado húmedo será necesario tener las probetas 48h en inmersión a 22±2°C y romperlas justo ser extraídas.

Ensayos de Durabilidad.

La absorción de agua por parte de la tierra es una de las principales fuentes de patologías. Provoca la migración de sales hacia el exterior, lavado de las arcillas y limos presentes, hinchamientos y retracciones diferenciales.

La falta de enlaces estructurales de carácter más fuerte, el exceso de agua de amasado, y la falta de heterogeneidad de las fracciones granulométricas, con su consiguiente descompensación respecto a la curva de Fuller, es origen del aumento de la porosidad más superficial y de la existencia de tubos capilares, fuentes principales de posibles vías para la migración de sales y de generar un ataque más rápido por abrasión, de ciclo combinado lluvia-viento.

Absorción

La primera etapa de los ensayos de durabilidad consiste en la saturación de las microprobetas en medio líquido. En todas se ha efectuado con agua destilada a excepción de la serie de la Montmorillonita, la cual no ha podido resistir ni el primer minuto de absorción capilar. Las probetas de arcilla sin estabilizar y con sosa cáustica tampoco soportan la inmersión en agua.

En estos casos, grafiados en la tabla adjunta con fondo amarillo, para poder determinar los poros accesibles y la absorción ha sido necesario utilizar un líquido de mayor densidad que el agua, el Tetracloruro de carbono (1.594 grms/cm³).

El ensayo se ha efectuado en condiciones de laboratorio, y con agua desionizada a 20°C, en la cual se han sumergido las probetas.

Para evaluar los poros capilares más superficiales se ha efectuado una primera lectura a un minuto de sumergir las microprobetas. La saturación total se ha estimado a las 48 horas de inmersión, y se ha desetimado cualquier método por ebullición para evitar la presión de las corrientes de agua que habrían podido provocar perdidas de muestra.

Ilustración 3 Es muy visible el resultado obtenido con la absorción de agua. Las muestras deshechas corresponden a la Montmorillonita con cemento portland, textura arenosa, y la Montmorillonita con Cemento Natural y Yeso, textura gelatinosa que denota cierta expansividad de la muestra. A la derecha muestra Mon Y....., en el picnómetro estándar con Cl4C.

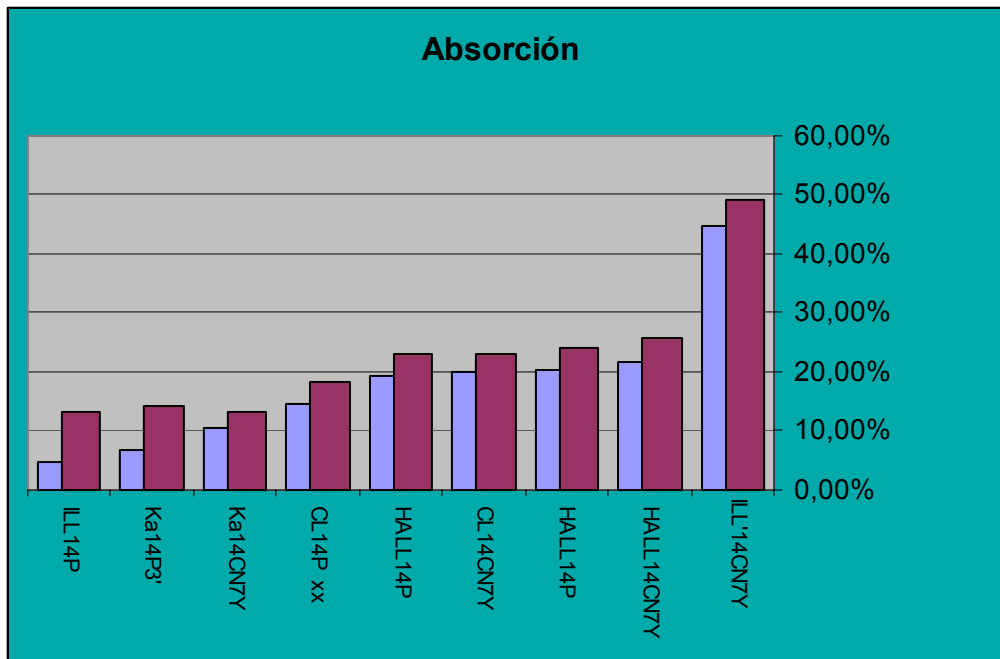


Ilustración 4 Tabla de absorción de las microprobetas del GrupoI. La primera columna añil corresponde a la absorción inicial a un minuto, parámetro utilizado para ordenar las muestras.

Para comprobar la dispersión de resultados se repitió el ensayo en más de una muestra, dando una desviación estándar de un 5%, tal como se vé en la muestra Hall14p.

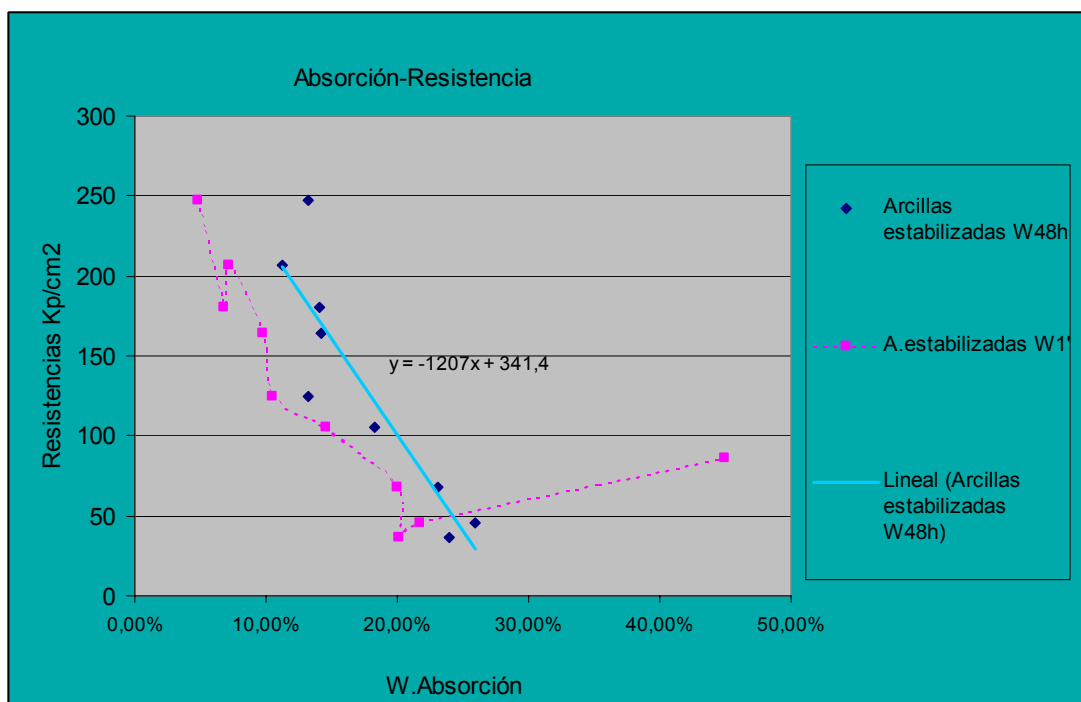
De ello se deduce :

Las illitas forman una estructura muy compacta con el cemento portland, en cambio muy porosa con el cemento natural y el yeso.
Las caolinitas, siguen a la anterior por su baja porosidad en ambos tipos de estabilización, aunque la absorción total es menor con el cemento natural y el yeso.
Las cloritas y las Halloisitas forman una estructura más porosa con el cemento portland, acrecentándose considerablemente con el cemento natural y el yeso.
Las Montmorillonitas poseen una porosidad similar a las Caolinitas, pero a diferencia de éstas, el agua deshace totalmente las débiles uniones interlaminares.

Correlación Absorción-Resistencia

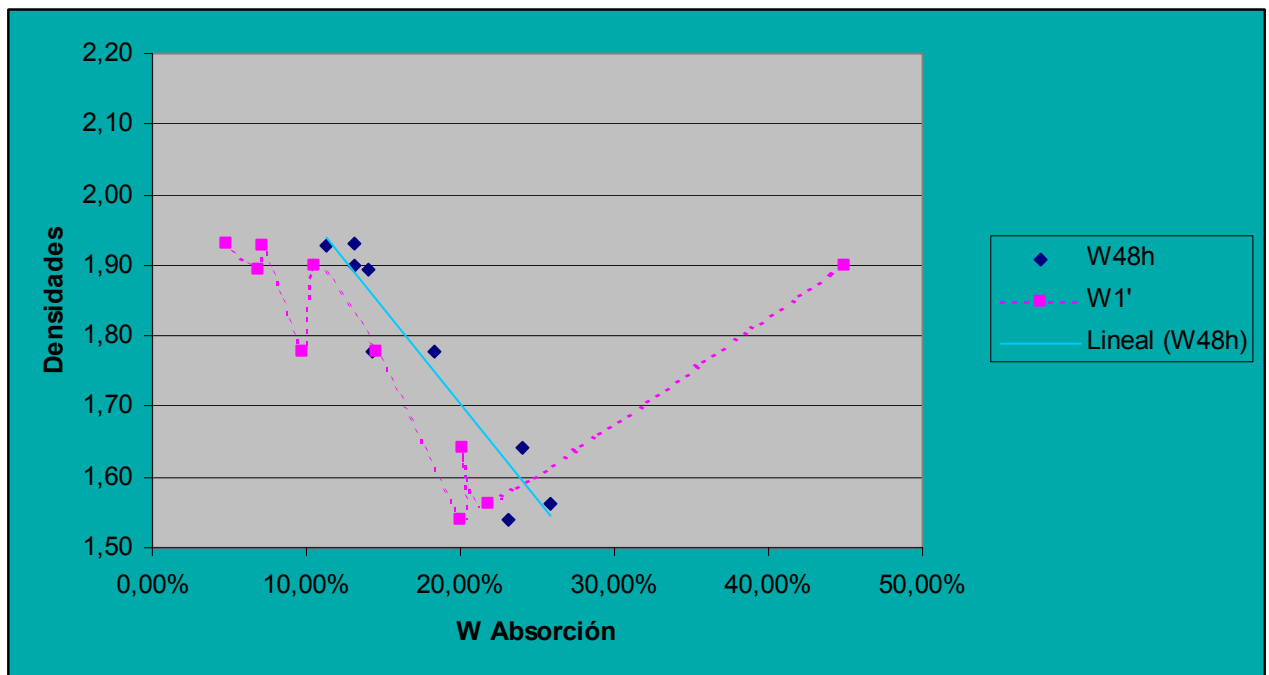
En este apartado de interrelaciona los datos extraídos del ensayo anterior con las resistencias obtenidas.

En la gráfica siguiente se puede ver como realmente hay una fuerte proporcionalidad, casi lineal,, sea respecto la absorción inicial o final. Solo quedaría como una excepción el comportamiento altamente poroso de la illita con cemento natural y yeso.



El ensayo de Absorción nos da información acerca de la obtención de una estructura con menores poros y de menor tamaño, directamente relacionado con la capacidad portante de la tierra.

Respecto a las densidades se obtiene el mismo resultado, diferenciando como antes los dos estados de absorción inicial y final a 48 horas, y la excepcionalidad de la probeta iLL14Cn7Y.



Ensayo cíclico de Humectación-Helacidad-Secado

El método de evaluación de la durabilidad de las microprobetas, combina en un solo ensayo 6 ciclos de helacidad, humectación, secado y ataque agresivo¹⁸, extraído sobretodo de las ASTM D-559Y 560 –82 (ver Normas 42-43-44 anexos) NLT-303-72, y la UNE 7033 de los ensayos de helacidad, en 20 ciclos entre 10°C (1h en agua) y –15°C(4 horas).

A partir del ensayo anterior de absorción se continua mediante un secado en mufla a 60°C durante 48horas. Pasado este período las microprobetas se cepillan con un cepillo de un diámetro 50% de la superficie de las caras de la microprobeta con una presión de 15N. La presión indicada se comprueba colocando la muestra sobre el plato de la balanza y se aplica el cepillo hasta conseguir un registro de 1.5Kgr.

¹⁸ Goma,F. Determination and classification of the causes of the loosenny agglomerate materials on building façades. Fifth Cannet/Aci, conference on durability of concrete.Juny 4-7 Barcelona 2000.



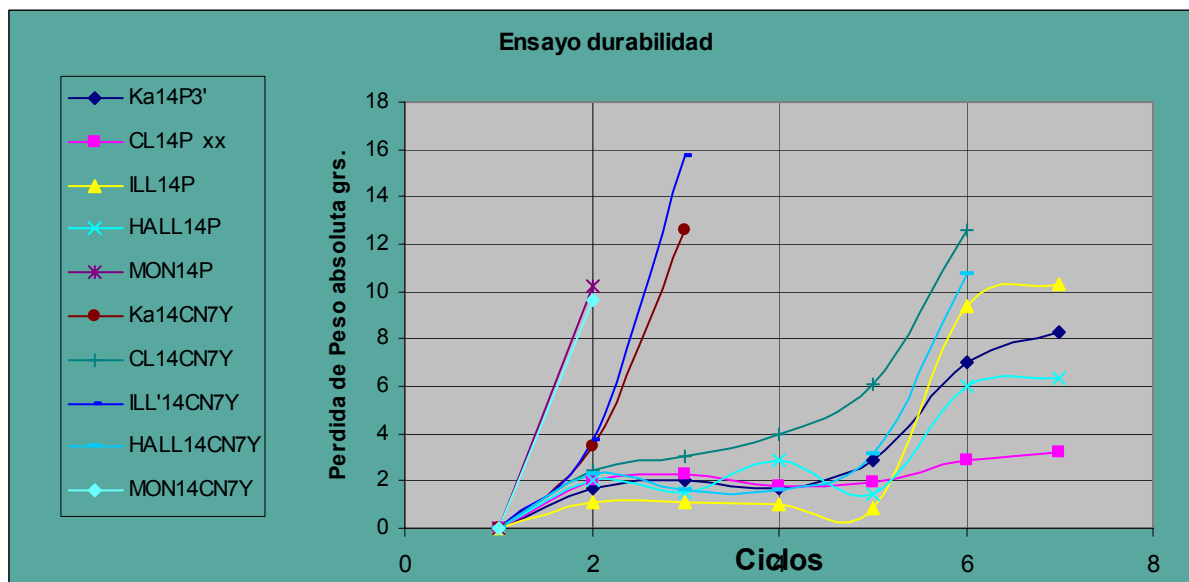
Después del primer ciclo de humectación y secado, que no logran superar las Montmorillonitas se procede con un ciclo de gelificación (G) a -15°C durante ocho horas y secado, con el mismo tiempo, en estufa a 60°C , para evitar alteraciones estructurales de las arcillas. Según puede observarse por las indicaciones en rojo de la tabla inferior, las Caolinitas e Illitas con cemento natural y yeso quedan destruidas totalmente. Seguidamente se inicia el tercer ciclo de Humectación salina (Ws) y secado (S). Tal como se observa en la foto1 de la serie, las Cloritas con cemento Natural y yeso sufren el peor ataque. La disolución de la sal sódica hasta saturación se ha efectuado en condiciones de laboratorio.

		Secado a60°					
		S+cepillado	Hielo+S	Ws saturado sal+S	Ws+G+S	W+G+S	W+G+S
		El rojo indica ciclo en que se destruye la muestra					
		48h	8h+8h	8h+8h	8h+8h+8h	8h+8h+8h	8h+8h+8h
Ka14P3'	0	1,65	2,02	1,680	2,89	7,04	8,28
Ka14CN7Y	0	3,46	12,55				
CL14P xx	0	2,07	2,30	1,780	1,95	2,86	3,23
CL14CN7Y	0	2,47	3,07	3,990	6,11	12,59	
ILL14P	0	1,06	1,14	0,990	0,84	9,34	10,52
ILL'14CN7Y	0	3,72	15,68				
HALL14P	0	2,05	1,53	2,890	1,42	6,04	6,33
HALL14CN7Y	0	2,32	1,60	1,580	3,10	10,70	
MON14P	0	10,21					
MON14CN7Y	0	9,60					

El cuarto ciclo combina la Humectación salina, Gelificación y Secado, en periodos de 8 horas. La intención es agrabar las tensiones expansivas del ataque salino con las propias de la formación de cristales de hielo. Aquí se inicia una fuerte degradación de Clorita

estabilizada con Cn y Yeso, deshaciéndose totalmente en el sexto ciclo de humectación-gelifracción y secado, igual que la Hall14Cn 7Y.

El séptimo ciclo de humectación-gelifracción y secado genera un fuerte deterioro en las muestras de Caolinita, Halloisita e Illita estabilizadas con cemento portland. únicamente la Clorita con portland resiste todos los ciclos.



Las estructuras más durables en orden descendente las forman las arcillas puras estabilizadas con cemento portland: Cloritas, Halloisitas, Caolinitas, e Illitas. Tras éstas estarían excepcionalmente las Halloisitas y las Cloritas estabilizadas con cemento natural y yeso. Las Caolinitas y las Illitas estabilizadas como las anteriores ya no superan el tercer ciclo de durabilidad. Y finalmente cabe destacar la bajísima estabilidad ante el agua de las Montmorillonitas en cualquiera de los sistemas de estabilización empleados.

Normas consultadas para la evaluación de la durabilidad

ASTM C121-90. Standard Test Method for Water Absorption of Slate. Absorción en Pizarras.

La absorción se efectúa por inmersión durante 48 horas, aunque da un criterio interesante equivalente de aceleración por ebullición durante 8 horas y reposo de 30'.

UNE 7089. Ensayo de absorción de agua en pizarras para cubiertas. Sobre placas de 50 x 50 mm., desecadas a 105° se sumergen en el agua contenida en un calderín, provisto de un condensador de reflujo, y se hierven continuamente durante 48h..Después se enfrían al aire durante 5min. y se colocan en agua a la temperatura ambiente de la habitación donde se pesan dejándolas 30min.. Se escurren y se les pasa un paño húmedo, para obtener el peso saturado.

UNE 7191. DIN 456. Ensayo de permeabilidad de las tejas de arcilla cocida. Se sella la zona acanalada con material impermeable y se llena, en posición horizontal, hasta alcanzar 5cms de agua. En condiciones de laboratorio, 18° - 22°C y 65% HR, se mide el tiempo total alcanzado hasta observar degoteo inferior. de interés para la evaluación de la permeabilidad de los BTC.

UNE 7008 Determinación del coeficiente de absorción de agua, en baldosas y baldosines de cemento.. Se valúa en tres muestras, desecadas hasta peso constante hasta 110° C. Se colocan de canto sumergidas en agua hasta un tercio de su altura dos horas después se eleva hasta dos tercios y a las 24h. del inicio se sumerge hasta estar 5cms bajo el nivel del agua. La exactitud de pesada será \pm un gramo.

UNE 83-309-90. ISO /DIS 7031. Ensayo de absorción de agua bajo presión. Se determina por la penetración del agua en la muestra, sujeta a una base de estanqueidad a presión. Se mide la altura media alcanzada rompiendo la probeta por el medio, y a la vez se pesa la cantidad de agua que ha penetrado en ésta.

UNE 7192. DIN 52 250. Determinación de la resistencia a la intemperie de las tejas de arcilla de cocida. Se valúa con 25 ciclos de humectación (2h.) y gelificación (4h. a -15°C.). Se evalúa la pérdida de resistencia a flexión. a considerar para los ensayos de durabilidad del BTC.

UNE 7082 Determinación aproximada de la materia orgánica en arenas para morteros y hormigones. **ASTM C40-48** materia orgánica en arenas. Este método por colorimetría, utiliza una disolución patrón coloreada tipo (97,5 cm³ de disolución de hidróxido sódico al 3%, con 2,5 cms³ de disolución de ácido tánico al 2% en 10% de alcohol, reposado 24 h), que se compara a una disolución de 150 cms³ (100cms³ de arena en hidróxido sódico al 3%). El color debe ser más débil que el del patrón a las 24h. Sólo será interesante como ensayo de campo.

UNE 7133 Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones. **ASTM C142-39** Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones. Esta norma tiene por objeto describir un ensayo de rutina para la determinación aproximada, mediante el tacto y la vista, de los terrones de arcilla que continen los áridos. Crítica. La evaluación de los terrones de arcilla es inexacta, ya que depende del grado de visualización en el conjunto de los áridos privados. A la vez las temperaturas de secado, 105° a 110°C. pueden modificar sustancialmente las estructuras cristalinas de los yesos y de las arcillas.

UNE 7207 Método para determinar la expansión, en autoclave de los cementos. Esta norma tiene por objeto describir un método que sirva para determinar la expansión o contracción de probetas, fabricadas con pasta de consistencia normal sometidas a calefacción en autoclave.

UNE 7134. Determinación de partículas blandas en áridos gruesos para hormigones. Se obtiene a través del esclerómetro la duraza Rockwel de los áridos previamente clasificados. Se considera que un árido es blando cuando se produzca un surco por efecto del rallado, sin deposición metálica en él.

UNE 7091. Ensayo de inmersión en ácido sulfúrico de pizarras para cubiertas. El ensayo consiste en mantener sumergidas las probetas 240h., en una solución de ácido sulfúrico $\gamma = 1,145$ (dilución 1/7 de SO₃ $\gamma = 1,84$).

UNE 7033. Ensayo de heladicidad y permeabilidad, de los baldosines y baldosas de cemento. 20 ciclos consistentes en 4h. a -15°C y 1 hora en agua a 10°C. Posteriormente se somete la pieza durante 48 h. a una presión (0,5 Kg. /cm²), bajo una capa de 10 cms de agua, en el interior de un permeabilímetro, donde a través de juntas estancas se asegura que el paso del agua será a través de la pieza. El resultado final debe expresar la presión necesaria para que el agua atravessara.

UNE 7132. Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones. Se toman 50 cms³ del agua y se le añaden tre gotas de disolución alcohólica de α - naftol (6/100 en alcohol etílico de 96°), y 1 cm³ de ácido sulfúrico concentrado ($\gamma = 1,84$). Si aparece coloración violada indica la presencia de sacarosa. Para determinar la presencia de glucosa y otros glúcidos reductores, se hace a través de observar cambio de coloración al mezclar el agua hirviendo con el reactivo Fehling (50% disolución A = 69,3 g /1000cm³ de sulfato de cobre cristalizado SO₄ Cu. 5H₂O, y disolución B = 364g de tartrato sódico potásico y 100g de hidróxido sódico en 1l.).

UNE 7063. Ensayo de Eflorescencia en los ladrillos. Se sumerge parcialmente a las 5 muestras representativas a una profundidad de 2,5 cm. en agua destilada durante 7 días, y se procede a su desecación durante 24h. en estufa.

UNE 7058. Método de ensayo de la resistencia del gres al ataque por agentes químicos. Se trata un gramo de muestra desacada a 110°C, con 25cm³ de ácido sulfúrico concentrado (SO₄ H₂ $\gamma = 1,84$), en un matraz de 200cm³. Se acopla a la boca del matraz un refrigerante de reflujo y se hierve suavemente durante 1h.. Se deja enfriar y se diluye con 50 cm³ de agua destilada, se decanta en papel de filtro, lavándolo tres veces con 50cm³ de agua destilada. El residuo que queda en el matraz se le añaden 50 cm³ de solución de hidróxido sódico al 5% Na OH. Se calienta al baño maría durante 15min. agitándolo cada 5 min.. Se filtra lavándolo con otros 50 cms de agua destilada. A este residuo le añaden 20 cm³ de agua destilada y 5 gotas de ácido clorídrico concentrado. Se pasa todo al filtro y se lava con agua caliente. Se deseca a 110°C y se pesa. La diferencia de peso determina el grado de atacabilidad.

UNE 7130. ASTM D1 069-49. Determinación del contenido total de sustancias solubles en aguas para el amasado de hormigones. Consiste en pesar el residuo que deja el secado, en estufa, de 1000 cms³, en cápsula de platino de unos 200 cms³ de capacidad.

ASTM C217-94 Standard Test Method for Weather Resistance of Slate. Ensayo de durabilidad de las pizarras.

Prepara 3 muestras pulidas con el abrasivo n°80, en las que se efectúan cuatro ranuras estándar, distribuidas uniformemente en arco, con un cuchillo (de 7.6cms y 1.9cms de ancho) a una presión de 13N (prueba en balanza hasta 1.3Kgr). Se mide la profundidad con una exactitud de 0.0025 mm. Se mantienen las probetas siete días en inmersión en ácido sulfúrico al 1%, el cual será repuesto cada día. Finalmente se lava con agua y se seca en estufa a 105±2°C, evaluando la profundidad de ataque sobre las ranuras.

Coefficiente de transmisión térmica

Unas de las propiedades de la tierra, de gran importancia en la construcción con BTC para mejorar la confortabilidad de la vivienda, son su capacidad aislante y su inercia térmica como acumulación de calor durante el día y su emisión hacia el interior durante la noche.

Estas características van en función de varios factores:

Estructura cristalográfica.

Arcillas presentes

Densidad

Humedad interna

El tipo de orden de la estructura interna de las partículas determina su capacidad de vibración ante la onda térmica, y por tanto su conductividad térmica. En estructuras muy ordenadas, como en los metales o el cuarzo (que duplica la conductividad de cualquier arcilla), el calor se transmite mucho más rápido que en estructuras amorfas como en el lapilli volcánico o en el árido artificial, muy similar al anterior, como la "Arlita". Por ello la variabilidad de la propia estructura de las arcillas presentes en la tierra, será un factor importante en la caracterización térmica del material. Así utilizando la base de datos elaborada por el CSTB en 1987 sobre las propiedades térmicas de la tierra, se ha elaborado la siguiente tabla para aplicar en el método.

Factor de conductividad con árido estándar		Resultados con una densidad de 1,7	Calor específico	Ce J/Kgr°K	Kcal/Kgr °C
Caolinita	$\lambda = 0,065 \times 10^{0,605ds}$		0,69	820	0,20
Clorita	$\lambda = 0,145 \times 10^{0,566ds+0,15}$		1,48	891	0,21
Illita	$\lambda = 0,098 \times 10^{0,548ds}$		0,98	818	0,20
Montmorillonita .	$\lambda = 0,193 \times 10^{0,438ds}$		1,07	815	0,19
Caolinita+clorita+8%C.P	$\lambda = 0,145 \times 10^{0,566ds}$		1,33		
Mon+8%C.P	$\lambda = 0,076 \times 10^{0,586ds-0,22}$		0,75		

CSTB. Propriétés thermiques du matériau terre. Jean Paul Laurent. Paris 1987

Las fórmulas dadas sobre conductividad de las arcillas cumplen la ley de Kersten, en base a la consideración de las fases sólida y líquida presente, y del tipo de contacto sólido-sólido (porosidad), y ratificadas por probetas experimentales.

Perdida al Fuego	P.F	$\epsilon \Delta_{105^\circ\text{C}-920^\circ\text{C}}$	λ
		%	
Caolinita	11,98		0,69
Clorita	7,91		1,48
Illita	7,85		0,98
Montmorillonita	7,06		1,07

Cabe destacar los siguientes puntos:

Las caolinitas muestran la menor conductividad y una gran capacidad de acumulación debido al agua estructural presente. El tamaño mayor de sus partículas $>1\mu$ provoca mayores espacios y flóculos, dificultando la transmisión térmica. En cambio se da lo contrario en Illitas y Montmorillonitas con tamaños de partículas casi de 0.1μ . Por tratarse de estructuras multicapas con uniones muy débiles, el desecado genera una fuerte retracción de las distancias interlaminares, con lo cual se reduce la posibilidad de mantener aire intersticial y así dificultar la transmisión térmica. Asimismo cabe añadir que las Montmorillonitas són más hábidas en agua ambiental que no las Illitas, factor correlacionado con la “K” del material.

Perdida al Fuego	P.F	$\Delta T_{m.aire-60^{\circ}C}$ %
Caolinita	1.75	
Clorita	1.06	
Illita	0.85	
Montmorillonita	3.34	

La estructura menos plástica, más porosa y de uniones más fuertes de la Clorita, conlleva un comportamiento físico más cercano a los limos, así la transmisión térmica es mayor que en el resto.

Estos coeficientes de conductividad térmica de la tabla anterior están tomados a partir de muestra seca en estufa a $105^{\circ}C$.

Para temperaturas menores se debería considerar el porcentaje de humedad presente, y corregir el coeficiente mediante la siguiente expresión, deducida de las investigaciones de la Universidad Canadiense de Saskatchewan del año 1949¹⁹.

$$K = 3,78(Hr\%) + K_0$$

*Aut. Hutcheon. Univ. Saskatchewan 1949

Cabe destacar que la experimentación se efectuó con lecturas por termopar sobre microprobetas cortadas de $18 \times 18 \times 2.5$ cms en cámara caliente, y simultáneamente sobre un módulo cúbico construido con tierra de $3 \times 3 \times 3$ m. Los resultados extraídos por los dos procedimientos son coincidentes.

A partir de ello, también se adoptaron los siguientes factores K de transmisión de calor standards para la tierra:

¹⁹ Thermal conductivity of Rammed Earth. Aut. N.B Hutcheon and WH.Ball. Edit. C.Engineering University of Saskatchewan. September 1949.

K (2,54cms) = 2,36 13,4
Tapial Btu/h ft2 °F W/m2°K

* $\lambda = 0,34$ W/m °C

K (2,54cms) = 4 22,71
Adobe estabilizado Btu/h ft2 °F W/m2°K

* $\lambda = 0,58$ W/m °C

* Datos del U.S Bureau of Agricultural Engineering. 1938
y de J.D.Long. Bulletin 472 "Adobe Construction". Univ.California

Análisis químico de las microprobetas.

La capacidad aglomerante de las arcillas, como hemos dicho, depende de las atracciones de las interacciones iónicas entre las estructuras en capas de la sustancia arcillosa por lo que se forman sistemas coloidales de muy pequeño tamaño de partículas. (10.000 – Å). La introducción de aglomerante y/o estabilizantes aporta a estos sistemas coloidales, un incremento de sustancias activas en tanto que sean solubles o potencialmente solubles en medio acuoso, ácido o alcalino.

Para la evaluación cuantitativa de estas sustancias activas es necesario recurrir a su determinación por análisis químico de las fracciones que son solubles en medio acuoso. Los aglomerantes, hidraulizados o no, lo son en tanto puedan generar nuevas sustancias que cristalizan o producen uniones poliméricas como la formación de las fases CSH en los cementos Pórtland o naturales.

Todas estas sustancias aglomerantes son solubles en medio ácido y se pueden separar de las inertes insolubles mediante el análisis de las llamadas “fracciones solubles”²⁰ por el procedimiento descrito.

Para la caracterización de las arcillas y el conocimiento de los cambios químicos que se producen en los procesos de hidrólisis y aglomeración es indispensable la determinación de los elementos normalmente mayoritarios, solubles, Sílice y Alúmina, hierro, calcio y de los minoritarios: sulfatos SO_3^- , cloruros Cl^- , y los Cationes de cambio Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Para ello se optó por un procedimiento que no tuviera limitaciones de exactitud y fuera un proceso analítico cuantitativo. Éste es el “nuevo método de las fracciones solubles” para el SiO_2 .

Descripción del método de determinación de la composición de las fracciones solubles

Determinación de la Sílice soluble.

Por tratarse de cantidades pequeñas en sílice para esta clase de materiales se requieren procedimientos con exactitud y reproducibilidad conocida.

Así el procedimiento del autor citado ha desarrollado un método, para la determinación de Sílice, que dispone, que dispone de una exactitud tres veces superior al procedimiento volumétrico complexométrico de la [ASTM C-1084/92](#).

Determinación de la Sílice soluble.

-Se toma una muestra de 25 gramos del material a ensayar, ya sea de las materias primas o de las microprobetas realizadas o de un BTC, secada a 60° , a temperatura constante. Se molutura en mortero cerámico deshaciendo los terrones, y se pasa toda la muestra por el

²⁰ *Chemical analysis of hardened concretes and mortars with active additions. A new procedure for its identification. Aut. Gomá, F.G y Vicente M.D. Edit. Proceedings of the International Conference Creating with concrete and mortar. R.K Dhir y M.C.Limbachiya. sep.1999*

tamiz de 63μ 0.063UNE 7050 o n°230 ASTM. Se remolturan los rechazos de forma intermitente hasta reducir toda la muestra a tamaño justamente o inferior a $63\mu\text{m}$.

- Se cuartea la muestra y se toman **2.5 gramos**, pesados con precisión de un miligramo ± 0.1 , y se deslíen en unos 10ml de agua destilada.



-La barbutina obtenida se vierte cuantitativamente y lentamente gota a gota dentro de 250 ml de disolución de ácido clorhídrico al 10%, en un periodo superior a un minuto. Para las arcillas muy finas y difíciles de filtrar, como la montmorillonita, se hará con el doble de líquido al 5% de HCl. La temperatura de éste será de $+3^{\circ}\text{C}$ a $+8^{\circ}\text{C}$. Éste **primer ataque ácido en frío** se efectuará durante **30** minutos en el interior de una vaso de reacción provisto de agitación magnética, tipo stirring.



-Una vez transcurrido el periodo, se deja precipitar el residuo insoluble (2 horas para las arcillas muy puras y finas), y decantándolo progresivamente, sin perder partículas, se pasa el líquido através un **filtro de banda blanca** (textura mediana, de referencia 589 Scheicher y Sshüll).

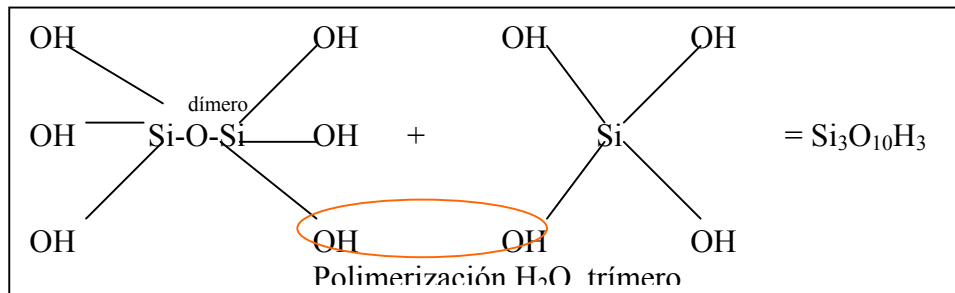
El filtro se lava un mínimo de cinco veces con $5\text{-}10\text{cm}^3$ de agua desionizada caliente, hasta eliminar los iones Ca^{++} . Los líquidos filtrados se recogen y se **aforan en un matraz** aforado de 500ml. Éstos contienen la Sílice, la Alumina y los óxidos solubles, propios de las arcillas puras, los obtenidos por la acción de aditivos, los de aglomerantes estabilizadores empleados, y los provenientes de las adiciones activas.



Para obtener la sílice soluble (SiO_2) y la Alumina soluble (Al_2O_3) se debe evitar que una vez se hallan extraídos estos óxidos de la muestra original no queden absorbidos por alguna causa física o química. Como que la muestra que atacamos con ácido queda en su mayor parte (90%) con residuo insoluble y está en una mayor parte constituida por arcilla, esto provoca una coprecipitación de los ácidos sílicos en reacción de polimerización los cuales forman flóculos de sílice coagulada sobre la propia muestra.

En la tabla n° podemos ver la serie de ácidos que forma la sílice.

Ácido Ortosilícico	Constantes de equilibrio
$\text{SiO}_4 \text{H}_4 \rightleftharpoons \text{SiO}_4^- + 4\text{H}^+$	
$\text{SiO}_4 \text{H}_3 \cdot + \text{H}^+$	K1
$\text{SiO}_4 \text{H}_2 = + 2\text{H}^+$	K2
$\text{SiO}_4 \text{H} \equiv + 3\text{H}^+$	K3
$\text{SiO}_4 \equiv + 4\text{H}^+$	K4
Ejemplo. Silicato potásico+ácido clorhídrico= Ortosilícico+sal	
$\text{SiO}_4 \text{Na}_2 + \text{H}^+ \text{Cl}^- = \text{SiO}_4 \equiv + 4\text{H}^+ + \text{Cl}^- \text{Na}$	



El siguiente esquema muestra las reacciones en cadena de la polimerización. Cuando secamos el líquido las cadenas tridimensionales se hacen mayores, se coagulan y coprecipitan. Las de bajo nº de polimerización aún restan solubles.

-Los líquidos del lavado son desecados con lampara de infrarrojos, el residuo que queda contiene la parte soluble de la arcilla en atauqe ácido. el cual se cuantifica mediante gravimetría.

Para evitar que el fenómeno de coprecipitación invalide los resultados el residuo insoluble se trata con 25ml de sosa 0.5 molar NaOH al 2% hirbiéndolo durante 5 minutos, y manteniendo la temperatura durante 15' más. Se deja decantar y con el líquido se ataca el filtro donde se había quedado algo de arcilla. Para decantar las caolinitas y las montmorillonitas, se diluyen en 150 ml de agua destilada y se pasa la disolución a medio ácido mediante HCl 1/3, utilizando como indicador el Bromtimol que se vuelve amarillo. Una vez decantado se pasa todo por el mismo filtro que ya teníamos del primer ataque ácido. Éste se junta con los líquidos de lavado del primer ataque, aunque en esta parte del estudio se han efectuado la determinaciones por separado, para medir los componentes solubles recuperables.

No hay que obviar que la sosa por sí misma es capaz de atacar la estructura de la arcilla, provocando una solubilización extra del SiO₂ y los elementos trivalentes. Por ello se ha

evaluado un ataque individualizado de sosa sobre cuatro arcillas puras, tal como se muestra en la tabla adjunta.

Argila Caolinita Canyada de Verich	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO	Σ
Atac OH⁻ 0.5 M	0.35	0.08	0.09	0.17	0.07	
	0.78	0.21	0.32	0.53	0.11	
	0.89	0.17	0.23	0.40	0.16	
	0.50	0.05	0.10	0.15	0.10	
	0.60	0.08	0.10	0.18	0.09	
Xi	0.62	0.12	0.17	0.29	0.11	1.02

Argila Montmorillonita	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO	Σ
Atac OH⁻ 0.5 M						
	0.75	0.21	0.10	0.30	0.19	
	0.58	0.33	0.15	0.48	0.22	
Xi	0.67			0.38	0.18	1.23

Argila Clorites	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO	Σ
Atac OH⁻ 0.5 M	0.62	0.20	0.28	0.48	0.38	
	0.56	0.18	0.22	0.40	0.29	
Xi	0.59			0.44	0.34	1.37

Argila Illites	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO	Σ
Atac OH⁻ 0.5 M	0.56	0.46	0.53	0.99	0.98	
	0.50	0.49	0.56	1.1	0.87	
Xi	0.53			1.0	0.90	2.43

-Para finalizar el análisis los 250ml de los líquidos de lavado de la recuperación con sosa se dejan **evaporar a 170°C** en un disco de porcelana con capacidad para 400ml.

-El producto desecado es tratado con 5ml de ácido clorhídrico, y de nuevo se deja evaporar.

Al alcanzar la muestra el estado seco, se continuará manteniendo la temperatura citada durante 30 minutos.

-Tras enfriar el residuo a menos de $+5^{\circ}\text{C}$, se realiza un **ataque ácido en frío**, durante 20 minutos, através de 5ml ácido clorhídrico 1:1 y un cubito helado de agua destilada.

-Tras el ataque, se filtra el líquido en un papel de textura fina-media, lavándolo con agua desionizada hasta que los iones Cl^- són eliminados, entonces se incinera, se calcina a 1200°C y se pesa.

-La sílice que pasa a la solución bajo estas condiciones es una cantidad mínima constante menor que 1 mg, pudiéndose contabilizar así, evitando recuperarla. La pureza de la sílice se garantiza, sin necesidad de determinar, ya que en los ataques ácidos precedentes no se ha utilizado ni sulfúrico ni fluorhídrico, en los cuales a veces existen adiciones con hierro en gran cantidad.



Ilustración 5 Determinación por complexometría

Determinación de los Óxidos Trivalentes

De los 250ml sobrantes de los líquidos de la determinación de la sílice, se destinan 50ml para el CaO , 50ml para el Fe_2O_3 , y 100ml para la Alumina Al_2O_3 + el Fe_2O_3 .

Estas determinaciones se realizarán por métodos de complexometría CEN²¹, procesos basados en la adición graduada de complexona al líquido hasta obtener el color indicativo de neutralización. Para realizar los cálculos se parte de que el contenido de los óxidos son proporcionales a la cantidad

²¹ European Standard en 196-2-94 Chemical Analysis of cements.

añadida de complexona.

Ya que la cantidad de R_2O_3 obtenida es muy pequeña, no hará falta dar más, en el método de la Tesis, los valores discriminados en Al_2O_3 y Fe_2O_3 porque éstos son aún más pequeños, encontrándose en los límites de precisión del procedimiento analítico.

Además, su determinación por la técnica complexométrica, con un cálculo bastante complicado, es mucho más laborioso y resulta más operativo determinarlos por gravimetría por precipitación a pH 8, previa oxidación del hierro a trivalente. De esta forma se evitan las posibles interferencias sobre los colorantes de los indicadores de complexometría en el momento de determinar la cal por esta técnica.

Resultados análisis químico obtenidos en las mezclas del Grupo I

Siguiendo los procedimientos descritos, se analizó una a una las muestras de 50% arcilla pura del Grupo I con arena silícea inerte al 50%.(43.3% en valor absoluto), y las mezclas estabilizadas, respecto a la arcilla más la arena, con el aditivo de sosa cáustica al 1.5% (1.3% valor absoluto), con un 14% en peso de cemento portland (12.1% en valor absoluto), y con 7% de yeso (6.05%.absoluto) más 14% (12.1)de cemento natural de mina Collet, marca Marfil.

Los resultados se exponen en columnas, según el compuesto analizado, desglosando el porcentaje obtenido en el primer ataque ácido y el obtenido mediante la recuperación por sosa.

Para cerciorarse del método en algunos casos se repite el análisis, por lo que aparecen en filas más de un resultado. En todos los casos se presenta la media ponderada de éstos, y finalmente en la parte inferior de cada cuadro la suma total de las dos extracciones y el porcentaje relativo entre R_2O_3 , SiO_2 y OCa para hacer el correspondiente gráfico ternario. El valor de pérdida por calcinación, de los siguientes resultados, se ha tomado al que corresponde al material deshidratado en equilibrio en atmósfera a 72 °C.

Ka. Arcilla caolinita Canyada de Verich					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	R_2O_3	CaO
Ataque HCl 10 %	0.11	0.09	0.07	0.16	0.32
	0.14	0.10	0.08	0.18	0.36
	0.15	0.11	0.09	0.20	0.38
Xi	0.13	0.10	0.08	0.18	0.35
SiO₂, R₂O₃,CaO cooprecipitados + AtaqueOH⁻	0.91	0.11	0.14	0.25	0.13
	0.80	0.09	0.14	0.23	0.16
	0.87	0.16	0.12	0.28	0.12
Xi	0.86	0.12	0.13	0.25	0.14
Óxidos solubles totales incluidos cooprecipitados %					
Xi	0.99	0.22	0.21	0.43	0.49

Punto de composición en diagrama ternario	51.8			22.5	25.6
Total fracción soluble muestra Ka	1,91%			Residuo insoluble	97,66%

Ka 14P. Arcilla Caolinita pura 50%, Portland al 14% y NaOH 1.5%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Ataque HCl 10 %	1.2	1.5	0.63	2.1	8.1
	1.3	1.4	0.59	2.0	7.8
Xi	1.2	2.9	1.22	2.1	7.9
SiO₂, R₂O₃, CaO cooprecipitados + Ataque OH⁻					
	2.9	0.13	0.07	0.20	0.25
	2.7	0.20	0.10	0.30	0.19
Xi	2.8	0.33	0.17	0.25	0.22
Óxidos solubles totales incluidos cooprecipitados %					
Xi	4.0	0.66	1.39	2.35	8.2
Punto de composición en diagrama ternario	27.5			16.2	56.4
Total fracción soluble muestra Ka	16,60 %			Residuo insoluble	83,40%

Cl. Arcilla Clorita pura 50%.					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Ataque HCl 10 %	0.51	0.63	0.59	1.2	1.54
	0.60	0.70	0.63	1.3	1.47
	0.49	0.54	0.50	1.0	1.50
Xi	0.53	0.62	0.57	1.18	1.50
SiO₂, R₂O₃, CaO cooprecipitados + Ataque OH⁻					
	1.1	0.30	0.39	0.69	0.32
	1.0	0.25	0.35	0.60	0.26
Xi	1.1	0.28	0.37	0.64	0.29

Óxidos solubles totales incluyendo cooprecipitados					
Xi	1.6	0,9	0,94	1,84	1,8
Punto de composición en diagrama ternario	30.6			35.6	33.8
Total fracción soluble muestra Cl	5,24%			Residuo insoluble	94,76%

Cl 14P. Arcilla Clorita pura 50%, Portland al 14% y NaOH 1.5%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Atac HCl 10 %	1.52	0,53	1.25	1.79	8.3
	1.47	0,60	1.30	1.90	8.1
Xi	1.50	0,57	1.28	1.80	8.2
SiO ₂ , R ₂ O ₃ , CaO cooprecipitados + Atac OH ⁻					
	1.24	0,61	0,92	1.53	0.30
	1.35	0,52	0,87	1.48	0.24
Xi	1.30	0,57	0,9	1.51	0.28
Óxidos solubles totales incluyendo cooprecipitados					
Xi	2.82	1,14	2,18	3.32	8.5
Punto de composición en diagrama ternario	19.3			22.6	58.1
Total fracción soluble muestra Cl 14 p	14,64%			Residuo insoluble	85,36%

ILL. Arcilla Illita pura 50%.					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Ataque HCl 10 %	0,47	0,45	0,43	0,88	0,71
	0,52	0,42	0,47	0,85	0,68
Xi	0,49	0,44	0,45	0,87	0,70
	0,49	0,44	0,45	0,87	0,7

SiO ₂ , R ₂ O ₃ , CaO cooprecipitados + Ataque OH ⁻					
	1.2	0.38	0.60	0.98	0.27
	1.5	0.40	0.51	0.91	0.31
Xi	1.4	0.39	0.56	0.94	0.29
Óxidos solubles totales incluidos cooprecipitados					
Xi	1.89	0.83	1.01	1.84	0.99
Punto de composición en diagrama ternario	39.2			39.2	21.6
Total fracción soluble muestra ILL		4,72%		Residuo insoluble	95,28%

ILL14P. Arcilla Illita pura 50%, Portland al 14% y NaOH 1.5%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Ataque HCl 10 %	1.50	0.59	1.6	2.1	8.6
	1.43	0.49	1.5	2.0	8.4
Xi	1.46	0.54	1.55	2.1	8.5
SiO ₂ , R ₂ O ₃ , CaO cooprecipitados + Ataque OH ⁻					
	0.35	0.10	0.28	0.38	0.32
	0.28	0.22	0.35	0.57	0.26
Xi	0.31	0.16	0.32	0.47	0.29
Óxidos solubles totales incluyendo cooprecipitados					
Xi	1.77	0.7	1.87	2.57	8.79
Punto de composición en diagrama ternario	13.5			19.6	67.0
Total fracción soluble muestra ILL 14P		13,13%		Residuo insoluble	86,87%

Mon. Arcilla Montmorillonita pura al 50%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Ataque HCl 10 %	0.70	0.32	0.18	0.50	0.21
	0.58	0.27	0.14	0.41	0.28
Xi	0.64	0,3	0,16	0,46	0,25

SiO₂, R₂O₃, CaO cooprecipitados + Ataque OH⁻					
	0.68	0.52	0.26	0.78	0.12
	0.60	0.30	0.28	0.57	0.18
Xi	0.64	0.41	0.27	0.68	0.15
Óxidos solubles totales incluidos cooprecipitados					
Xi	1.28	0.71	0.43	1.14	0.40
Punto de composición en diagrama ternario	44.9			41.0	14.0
Total fracción soluble muestra Mon		2,82%		Residuo insoluble	97,18%

Mon 14 P Arcilla					
Montmorillonita con 14% c.portland y 1.5% sosa					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃	CaO
Ataque HCl 10 %	1.0	1,1	0,47	1,58	7.9
	1.1	1,2	0,52	1,72	8.0
Xi	1.1	1,15	0,5	1,65	8.0
SiO₂, R₂O₃, CaO cooprecipitados + Ataque OH⁻					
	2.1	0.80	0.56	1.36	0.18
	2.3	0.68	0.43	1.11	0.15
Xi	2.2	0,74	0,5	1,24	0.17
Óxidos solubles totales incluidos cooprecipitados					
Xi	3.3	1,89	1	2,89	8.2
Punto de composición en diagrama ternario	22.7			21.0	56.3
Total fracción soluble muestra Mon14P		14,39 %		Residuo insoluble	85,61 %

Es indispensable referenciar todos los resultados a pérdida de calcinación PF= 0, para efectuar el cálculo de correspondencia teórica de las fracciones solubles entre los valores reales de laboratorio y el resultante teórico de sumar las fracciones solubles de la arcilla más las propias del estabilizante.

Sí se efectúa el cálculo de las fracciones solubles a 105° o a temperatura de laboratorio, surgen errores de masa que pueden llevar a falsas deducciones estructurales, ya que podría parecer que una porción de la Silice se insolubiliza dentro de la estructura laminar más estable de la arcilla pura presente.

Por ello es indispensable referenciar todos los resultados químicos a pérdida 0.

El correspondiente factor de cálculo es:

$$[\text{Valor \% sobre muestra seca} / (100 - \text{P.F})] \times 100$$

El modo operatorio ha consistido en la calcinación progresiva de 5 gramos de muestra desde condiciones de laboratorio hasta los 1000°C. Las muestras se han mantenido, a lo largo del ensayo, en un gresol tarado con precisión de miligramo. Antes de cada pesada se ha enfriado la muestra en un desecador con sulfúrico en su base para evitar la nueva absorción de humedad ambiental.

Los resultados son equiparables a las pérdidas obtenidas con el análisis termogravimétrico ATD/ATG, tal como podrá observarse en la misma tabla.

Las pérdidas al fuego y los correspondientes resultados y anexo la serie de microprobetas del Grupo I es la siguiente:

n° Muestra		P.F	P.F	P.F	P.F	P.F
		$\Delta T_{m.aire-60^{\circ}C}$	$\Delta 60^{\circ}C-105^{\circ}C$	$\Delta 105^{\circ}C-550^{\circ}C$	$\Delta 550^{\circ}C-920^{\circ}C$	$\epsilon \Delta 105^{\circ}C-920^{\circ}C$
M.P probeta experimental.		%	%	%	%	%
	Descripción					
		Perdida al Fuego	Perdida al Fuego	Perdida al Fuego	Perdida al Fuego	Perdida al Fuego
n°	L					
CA	Cal en polvo					
CEMI 42,5	Cemento Portland	2,69	2,69	2,69	2,69	5,38
CEM I 52,5/SR	0	0,22	0,29	0,18	1,09	1,27
CEM I 52,5/SR	Cemento Portland Molins PF=0	0,22	0,29	0,18	1,09	1,27
Z	Cenizas Central Térmica Cercs	0,7	0,7	0,7	0,7	1,4
Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PF=0	47,5	2,16	0,53	0,72	1,25
Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PFT°Cambiente	47,5	2,16	0,53	0,72	1,25
CNR9	Cemento Natural Collet	0,16	0,11	0,39	12,41	12,8
CNR9	Cemento Natural Collet PF=0	0,16	0,11	0,39	12,41	12,8
14%CEM I 52,5/SR	Cemento Portland Molins PF=0	0,03	0,04	0,02	0,13	0,06
7%Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PF=0	2,75	0,12	0,03	0,04	0,16
14%CNR8	Cemento Natural Collet PF=0	0,02	0,01	0,05	1,44	0,06
Molet	Caolinita Cañada de Verich.PF=0 total insoluble					13,90%
Ka	Caolinita Cañada de Verich.PF=0 fracción soluble	1,75	0,58	11,4	2,11	11,98
Ka	Caolinita Cañada de Verich	1,75	0,58	11,4	2,11	11,98
Ka	Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	1,75	0,58	11,4	2,11	11,98
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	1,47	0,6	12,00	5,53	12,6
Ka NaOH- ^o	Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0					0
Ka14CN7y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0					0
Ka NaOH-	Caolinita con sosa					11,98
Ka14P	Caolinita con Portland	1,47	0,6	12	5,53	12,6
Ka14CN7y	Caolinita con Yeso y C.Natural					0

n° Muestra		P.F. Adoptada	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2 cooprecipitada	SiO2	Incremento	SiO2 Cristalizado
		para el análisis	ataque CIH	ataque con OH- 0,5M	en CIH	recuperada con NaOH-	Total	relativo micro	e insolubilizado
M.P. probeta experimental.		%	1er análisis		2º análisis		ataque ácido+alcali	con NaOH-	Comparación teórico
	Descripción								y el real
		1,2318305							
		➤ Perdida al Fuego 0							
n°	L	Para pasar a PF0							
		$1/(1-\Delta PF^*(0,01))$		ph 13 sosa 30° 2.4h Método gnl mat construcción					m
			%x10,000=mg/Kgr	%x10,000=mg/Kgr					si > 2grif
									Comparación teórico
CA	Cal en polvo								
CEMI 42,5	Cemento Portland	5,38	18,25						
CEMI 52,5/SR	0	0,00	21,00						
CEMI 52,5/SR	Cemento Portland Molins PF=0	2,80	20,41						
Z	Cenizas Central Térmica Cercs	1,40	24,75						
Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PF=0	0,00	0,00						
Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PFT°Cambiente	50,91	0,00						
CNR9	Cemento Natural Collet	13,07	16,51						
CNR9	Cemento Natural Collet PF=0	0,00	18,99						
14%CEMI 52,5/SR	Cemento Portland Molins PF=0	0,00	2,52						
7%Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PF=0	0,00	0,00						
14%CNR8	Cemento Natural Collet PF=0	0,00	2,20						
			%						
Molet	Caolinita Cañada de Verich.PF=0 total insoluble	0	1,67				53,1		
Ka	Caolinita Cañada de Verich.PF=0 fracción soluble	0		0,62	0,15	1,00	1,15		
Ka	Caolinita Cañada de Verich	14,09		0,62	0,13	0,86	0,99		
Ka	Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	0,00	0,49	0,62	0,08	0,50	0,58		
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	0,00	3,90	0,12	1,47	3,42	4,89	135,92%	6%
Ka NaOH-	Microprobeta Caolinita 50%. 1,5% NaOH PF=0	0,00	0,57	0,31	0,57	1,19	2,07	259,43%	
Ka14CN7y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0	0,00	1,56		1,47	2,88	4,34	109,69%	1,7%
Ka NaOH-	Caolinita con sosa	5,99	0,50	0,31	0,50	1,05	1,86	100,00%	
Ka14P	Caolinita con Portland	18,13	3,19		1,20	2,80	4,00	85,60%	
Ka14CN7y	Caolinita con Yeso y C.Natural	12,19	1,56		0,96	2,01	2,97	68,79%	

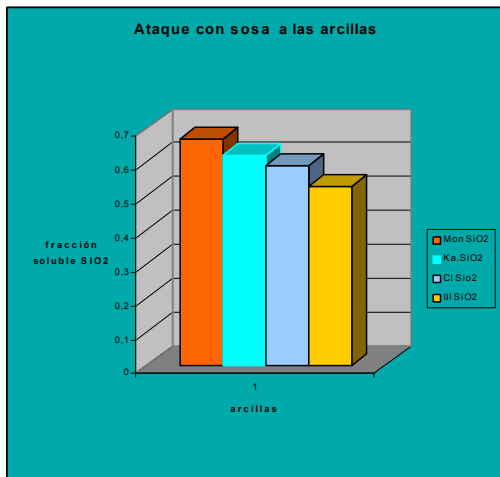
n° Muestra		P.F. Adoptada	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2 cooprecipitada	SiO2	Incremento	SiO2 Cristalizado
		para el análisis	ataque CIH	ataque con OH- 0,5M	en CIH	recuperada con NaOH-	Total	relativo micro	e insolubilizado
M.P probeta experimental.		%	1er análisis		2ºanálisis		ataque ácido+alcali	con NaOH-	Comparación teórico
	Descripción								y el real
		1,2318305							
		>Perdida al Fuego 0							
n°	L	Para pasar a PF0							
		$\frac{1}{1-(\Delta PF^*0,01)}$		ph13.sosa 30°24h.Método graImat construcción					m
			%x10.000=mg/Kgr	%x10.000=mg/Kgr					si >2gr/m
									Comparación teórico
			%						
CL . Clorita	Clorita Colcerola.Barcelona	8,36		0,59	0,53	1,10	1,63		
CL . Clorita	Microprobeta 50%Clorita PF=0	0,00	0,49		0,28	0,57	0,85		
CL NaOH-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa PF=0	0,00	0,62	0,30	0,31	0,64	1,12	31,92%	
CL14P oh-	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland PF=0	0,00	3,27		1,65	1,43	3,07	174,04%	2%
CL NaOH-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa	8,43	0,62		0,32	0,67	0,99	16,39%	
CL14P oh-	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland	8,94	2,98		1,50	1,30	2,80	182,83%	
CL14CN7Y* oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso PF=0	0,00	1,85		1,63	1,41	3,04	-9,69%	3%
CL14CN7Y* oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso	8,78	1,69		1,49	1,29	2,78	-9,69%	
	0								
ILL. Illita	Illita EE.UU	7,85	0,93	0,53	0,47	1,34	1,81		
ILL. Illita	Microprobeta 50% Illita EE.UU PF=0	0,00	0,47		0,27	0,76	1,03		
ILL NaOH-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa PF=0	0,00	0,58	0,55	1,69	0,36	2,60	153,92%	
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland PF=0	0,00	3,50		3,56	1,34	4,90	88,11%	-5%
ILL14CN7Y* oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	0,00	1,76		0,95	1,63	2,57	256,74%	-3%
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland	7,62	3,23		1,46	0,31	1,77	-10,00%	
ILL NaOH-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa	4,12	0,56	0,265	1,62	0,34	1,97	16,43%	
ILL14CN7Y* oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso	4,47	1,76		2,68	0,57	3,25	83,52%	

n° Muestra		P.F. Adoptada para el análisis	SiO2 ataque CIH	SiO2 ataque con OH- 0,5M	SiO2 en CIH	SiO2 cooprecipitada recuperada con NaOH-	SiO2 Total	Incremento relativo micro	SiO2 Cristalizado e insolubilizado
I.P. probeta experimental.	Descripción	%	1er análisis		2º análisis		ataque ácido+alcali	con NaOH-	Comparación teórico y el real
		1,2318305							
		>Perdida al Fuego 0							
n°	L	Para pasar a PF0 $\frac{1}{1+(\Delta PF * 0,01)}$		ph13 sosa 30° 24h. Método galimat construcción					
			%x10.000=mg/Kgr	%x10.000=mg/Kgr					si >2gr/m
			%						Comparación teórico
	0								
HALL_Hallosita	Microprobeta 50% Hallosita pura Indiana. EE.UU PF=0	0,00	4,35		4,39	4,47	8,86		
HALL_NaOH-	Microprobeta 50% Hallosita pura con 1,5% sosa PF=0	0,00	4,93	0,65	4,98	10,66	16,29	83,84%	
HALL14P oh-	Microprobeta 50% Hallosita con 14% c.portland PF=0	0,00	6,85		6,88	11,87	18,75	15,09%	0%
HALL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% Hallosita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	0,00	5,48		6,21	12,18	18,39	12,91%	-1%
HALL_Hallosita	Microprobeta 50% Hallosita pura Indiana. EE.UU	14,44	3,72		3,76	3,82	7,58		
HALL_NaOH-	Microprobeta 50% Hallosita pura con 1,5% sosa	14,47	4,22	0,65	4,26	9,11	14,03	68,99%	
HALL14P oh-	Microprobeta 50% Hallosita con 14% c.portland	18,56	5,58		5,60	9,67	15,27	63,96%	
HALL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% Hallosita con 14% c.natural y 7% yeso	18,82	4,45		5,04	9,89	14,93	9,98%	
	0								
Mon	100% Mon.Montmorillonita EE.UU PF=0	0,00	0,47	0,75	0,71	0,71	1,43		
Mon	Microprobeta 50% Mon.Montmorillonita EE.UU PF=0	0,00	0,11	0,00	0,34	0,34	0,67		
MON_NaOH-	Microprobeta 50% Montmorillonita con 1,5% sosa PF=0	0,00	0,57	0,35	0,40	0,40	1,15	69,94%	
MON14P	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland PF=0	0,00	3,34		1,19	2,38	3,57	211,71%	-3%
MON14CN7Y	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso PF=0	0,00	1,79		1,69	1,62	3,30	213,61%	-1%
Mon	100% Mon.Montmorillonita EE.UU	10,29	0,42	0,67	0,64	0,64	1,28		
Mon	Microprobeta 50% Mon.Montmorillonita EE.UU	5,15	0,105	0	0,32	0,32	0,64		
MON_NaOH-	Microprobeta 50% Montmorillonita con 1,5% sosa	5,40	0,54	0,027	0,36	0,36	0,74	13,27%	
MON14P	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland	7,67	3,08		1,10	2,20	3,30	77,64%	
MON14CN7Y	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso	7,83	1,65		1,09	1,09	2,17	205,56%	

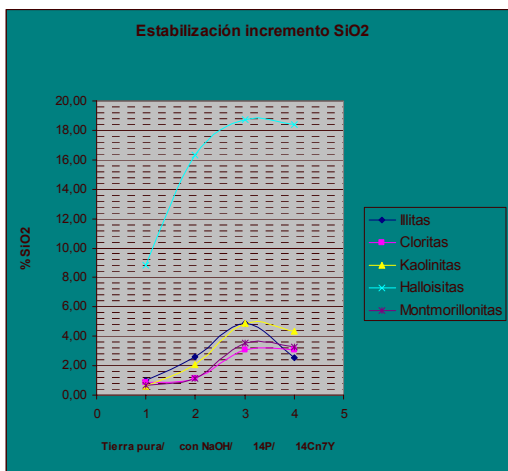
n° Muestra		SiO2	SiO2 cooprecipitada	SiO2	Incremento
		en CIH	recuperada con NaOH-	Total	relativo micro
1.P probeta experimental.		2° análisis		ataque ácido+alcali	con NaOH-
	Descripción				
n°	L				
Ka	Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	0,08	0,50	0,58	
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	1,47	3,42	4,89	135,92%
Ka NaOH- °	Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0	0,57	1,19	2,07	259,43%
Ka14CN7y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0	1,47	2,88	4,34	109,69%
CL . Clorita	Microprobeta 50%Clorita PF=0	0,28	0,57	0,85	
CL NaOH-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa PF=0	0,31	0,64	1,12	31,92%
CL14P oh-	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland PF=0	1,65	1,43	3,07	174,04%
CL14CN7Y oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso PF=0	1,63	1,41	3,04	-9,69%
	0				
ILL. Illita	Microprobeta 50% Illita EE.UU PF=0	0,27	0,76	1,03	
ILL NaOH-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa PF=0	1,69	0,36	2,60	153,92%
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland PF=0	3,56	1,34	4,90	88,11%
ILL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	0,95	1,63	2,57	256,74%
	0				
HALL.Halloisita	Microprobeta 50% Halloisita pura Indiana. EE.UU PF=0	4,39	4,47	8,86	
HALL NaOH-	Microprobeta 50% Halloisita pura con 1,5% sosa PF=0	4,98	10,66	16,29	83,84%
HALL14P oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.portland PF=0	6,88	11,87	18,75	15,09%
HALL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	6,21	12,18	18,39	12,91%
	0				
Mon	100% Mon.Montmorillonita EE.UU PF=0	0,71	0,71	1,43	
Mon	Microprobeta 50% Mon.Montmorillonita EE.UU PF=0	0,34	0,34	0,67	
MON NaOH-	Microprobeta 50% Montmorillonita con 1,5% sosa PF=0	0,40	0,40	1,15	69,94%
MON14P	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland PF=0	1,19	2,38	3,57	211,71%
MON14CN7Y	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso PF=0	1,69	1,62	3,30	213,61%

Tabla 16 CUADRO RESUMEN SILICE SOLUBLE ARCILLAS GRUPO I, REFERENCIADAS PERDIDA AL FUEGO=0

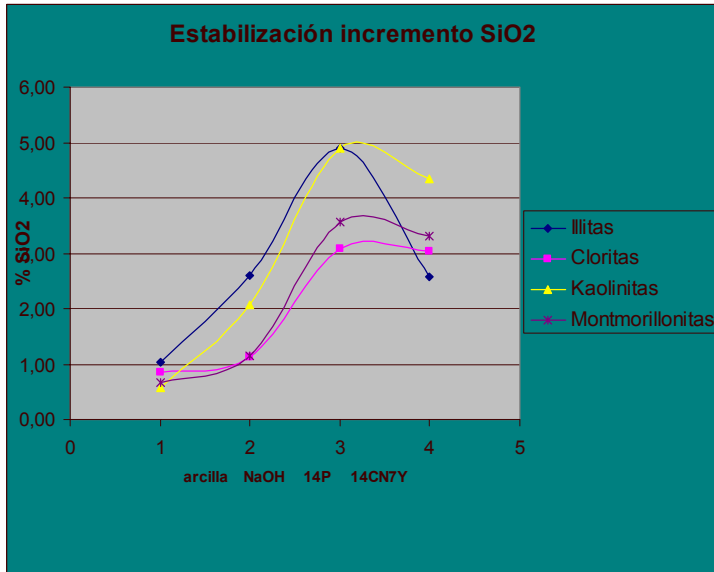
	Ataque patrón NaOH 0,5M 1% SiO ₂	Ataque patrón NaOH 0,5M 1% R ₂ O ₃	Ataque patrón NaOH 0,5M 1% Al ₂ O ₃	Ataque patrón NaOH 0,5M 1% Fe ₂ O ₃
Ka	0,62	0,29	0,12	0,17
Ka50p				
Ka14P				
CL - Clorita	0,59	0,44	0,19	0,25
CL14P				
ILL Illita	0,53	1	0,48	0,55
ILL14P				
Mon	0,67	0,38	0,27	0,125



Silice soluble



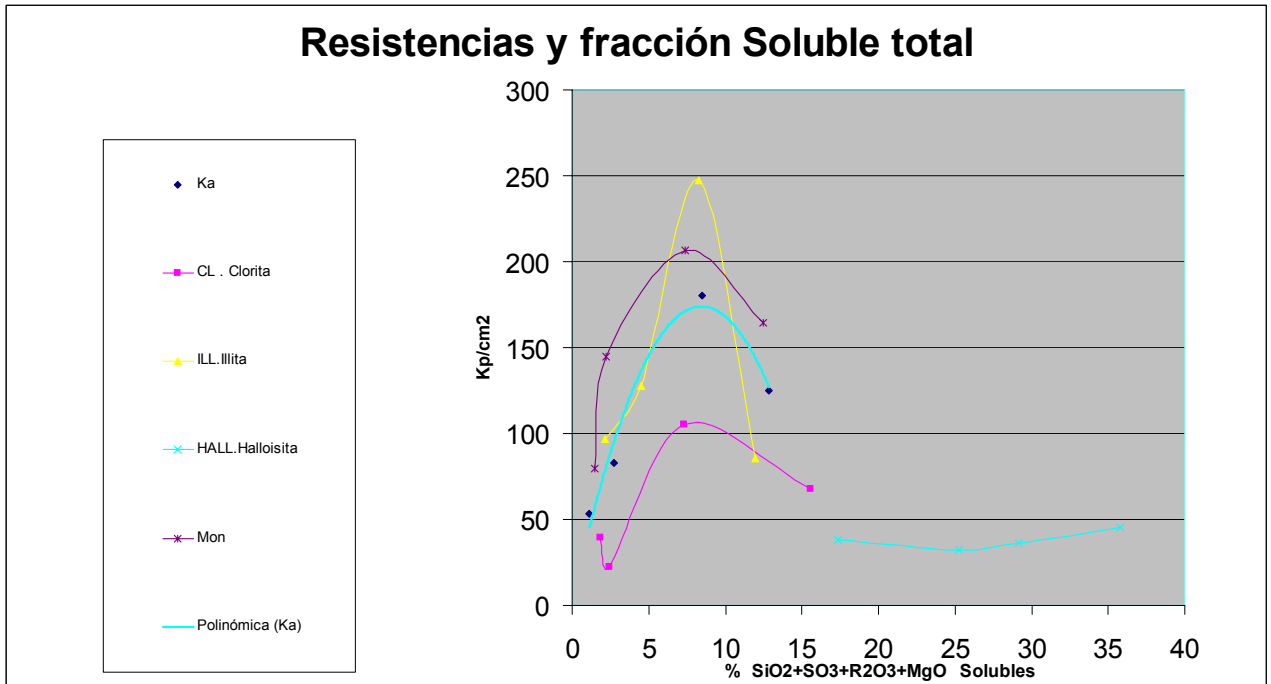
Se ha efectuado un análisis comparativo de los resultados de los componentes mayoritarios según el tipo de arcilla utilizada, y según el grado de estabilización empleado. De esta forma de dan valores de incremento relativo de los componentes respecto la mezcla arcillosa sin estabilizar. De ello podemos establecer los siguientes apartados y deducciones :



-Las arcillas puras en estado natural que poseen un porcentaje mayor de sílice soluble Halloisitas, el están en un orden parecido.

-El ataque alcalino y la acción defloculante de la sosa es máximo sobre las Montmorillonitas, Illitas y las Caolinitas, ya que multiplica por seis el contenido de SiO₂. En las Cloritas se duplica.

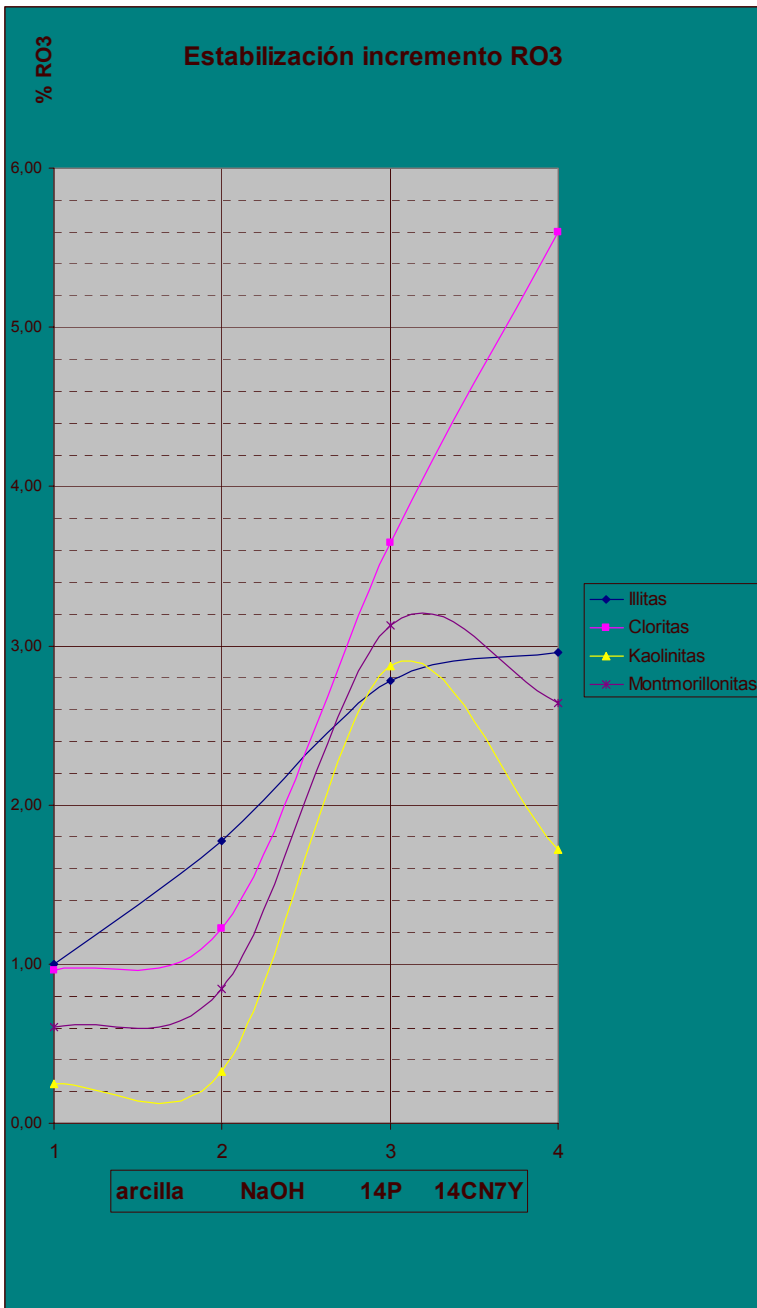
-El incremento de sílice soluble posibilita la formación de fases resistentes SCH, lo cual se relaciona con el incremento de resistencia, tal como se demuestra en la gráfica inferior.



En el estudio de las muestras estabilizadas con cemento portland se da un descenso remarcable de SiO_2 en las Montmorillonitas del 16%. Éste valor es un 26% inferior al teórico de añadir a la arcilla con sosa el 14% de cemento portland lo cual significaría un incremento de SiO_2 de $19.5\% \times 14\% = 2.73\%$ respecto al peso total de la muestra. Esta falta de sílice soluble se da también en las Halloisitas (-25%) y en las Cloritas (-12%), tal como si se diera una insolubilización de este componente, punto que requiere una investigación específica, para su resolución, que excede a los límites de trabajo de esta Tesis. Estos datos se relacionan directamente con el bajo incremento de resistencias que se da en Montmorillonitas y Halloisitas con el cemento portland como estabilizante, de lo cual podría hacerse la hipótesis de que se forma una estructura floculada, tal como también indica la baja densidad que se alcanza en Mon14P.

			SiO2 Cristalizado e insolubilizado	Al	%	Incremento relativo	Residu SO3.	Incremento relativo	Ca O	Incremento relativo	R2O3.Trivalentes Por gravimetría.
Comparación teórico											
Espectre absorció fotocolorimétrica.											
CUADRO RESUMEN PROBETAS DE ARCILLAS PURAS						métode dos líquids					
Suma solubles				respecto al total de SiO2		SO3					
		%	%	%	%		%		%		%
Ka	Caolinita Cañada de	1,05			0,45				1,73		0,60
Ka NaOH-		1,31			0,5	10,00%		0,00%	0,53	-226,42%	0,81
Ka14P		6,30	0,04	1,3%	3,19	84,33%	0,98	100,00%	9,20	94,24%	2,13
Ka14CN7y		10,46	1,628	104,4%	1,56	67,95%	7,532	100,00%	8,30	93,61%	1,37
CL . Clorita		1,14			0,51		0		1,54		0,63
CL NaOh-		1,28			0,62	17,74%	0	0,00%	1,56	1,28%	0,66
CL14P		5,02	0,37	12,4%	2,98	79,19%	0,98	100,00%	8,60	81,86%	1,06
CL14P		5,04	0,37	12,4%	2,98	79,19%	0,98	100,00%	8,60	81,86%	1,08
CL14CN7Y'		10,882	1,618	95,7%	1,69	63,31%	7,532	100,00%	8,11	80,76%	1,66
ILL.Illita	Illita EE.UU	1,33			0,45		0		0,71		0,88
ILL NaOh-	Illita EE.UU	1,55			0,56	19,64%	0	0,00%	0,98	27,55%	0,99
ILL14P		6,29	0,06	1,9%	3,23	82,66%	0,98	100,00%	7,82	87,47%	2,08
ILL14P		6,29	0,06	1,9%	3,23	82,66%	0,98	100,00%	7,82	87,47%	2,08
ILL14CN7Y		10,862	1,488	84,5%	1,76	68,18%	7,532	100,00%	7,87	87,55%	1,57
HALL.Halloisita		9,91			3,72				0,31		6,19
HALL NaOh-		10,75			4,22	11,85%		0,00%	0,32	3,13%	6,53
HALL14P		13,02	1,37	24,6%	5,58	24,37%	0,98	100,00%	7,68	95,83%	6,46
HALL14CN7Y		18,342	2,458	55,2%	4,45	5,17%	7,532	100,00%	7,33	95,63%	6,36
Mon	n.Montmorillonita EE	1,12			0,42		0		0,73		0,70
MON NaOh-		1,26			0,54	22,22%	0	0,00%	0,7	-4,29%	0,72
MON14P		6	0,19	6,2%	3	82,47%	0,98	100,00%	8	91,24%	1,74
MON14CN7Y		10,532	1,578	95,6%	1,65	67,27%	7,532	100,00%	7,19	90,26%	1,35

Componentes Trivalentes



Del análisis químico comparativo entre las muestras estabilizadas y sin estabilizar, y de los gráficos adjuntos, podemos deducir:

- Las estructuras de las Halloisitas, son las que contienen mayor grado de elementos trivalentes solubles.

Los aditivos y adicciones empleadas todas las arcillas estabilizadas con Yeso y Cemento Natural generan la transformación de este componente activo en fases ACH (aluminatos), SA (sulfoaluminatos) y FA (ferroaluminatos), por ello hay un descenso considerable de estos componentes. En la Halloisita se da además en la adicción de cemento portland. Estas fases aglomerantes no dan estructuras tan resistentes como las SCH (silicatos cálcicos), tal como muestran las resistencias obtendadas con las mezclas 7Y14CN.

n° Muestra	localización	R2O3.Trivalentes	R2O3.Trivalentes		Incremento	Al2O3	Al2O3		Incremento	Fe2 O3		Incremento
	Nota.Datos geológicos	Por gravimetría.	2º análisis		relativo	1er análisis,Mon	2do análisis		relativo micro			relativo micro
4.P probeta experimental.		Espectre absorció fotocolorimétrica.	recuperación						con NaOH-			con NaOH-
		sólo HCl	con sosa									
n°	L	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ +Fe ₂ O ₃										
		15-20%exceente. 1%de Fe										
		Espectre absorció fotocolorimétrica.										
0,14												
		%		dif.teórico		%		dif.teórico		%		dif.teórico
Ka	Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	0,65	0,25			0,44	0,13			0,09		
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	2,60	2,87	49%	782,49%	1,62	0,81	-23%	276,29%	0,98	-1%	126,20%
Ka NaOH-	Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0	0,92	0,33		29,97%	0,43	0,19			0,43		357,71%
Ka14CN7Y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0	1,37	1,72	-5%	429,20%	1,07	1,09	-38%	147,85%	0,30	-124%	-30,55%
CL . Clorita	Microprobeta 50%Clorita PF=0	0,33	0,96			0,33	0,47			0,49		
CL NaOH-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa PF=0	0,66	1,23		27,68%	0,66	1,04		122,06%	0,82		67,18%
CL14P	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland PF=0	1,16	3,65	26%	197,42%	1,16	1,25	-28%	20,05%	1,09	-26,6%	32,58%
CL14CN7Y	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso PF=0	1,99	5,59	51%	356,35%	1,18	1,58	-32%	51,13%	0,83	-28,3%	0,80%
ILL illita	illita EE.UU	0,92	1,00			0,47	0,45			0,55		
ILL NaOH-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa PF=0	1,03	1,78		12,82%	0,53	0,70		13,20%	0,83		51,45%
ILL14P	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland PF=0	2,25	2,78	-5%	118,06%	1,08	0,76	0%	104,33%	2,02	59%	143,89%
ILL14CN7Y	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	1,64	2,96	-10%	59,17%	1,04		-52%	95,62%	0,61	-76%	-26,85%
HALL Halloisita	Microprobeta 50% Halloisita pura Indiana. EE.UU PF=0	7,23	8,46			6,67				0,56		H
HALL NaOH-	Microprobeta 50% Halloisita pura con 1,5% sosa PF=0	7,63	8,93		5,53%	6,85			2,66%	0,78		39,63%
HALL14P	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.portland PF=0	7,93	9,74	-11%	3,90%	6,78		-9%	-1,07%	1,17	-15%	48,91%
HALL14CN7Y	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	7,83	9,65	-16%	2,62%	6,85		-15%	-0,04%	0,99	-4%	25,80%
Mon	Mon.Montmorillonita EE.UU	1,65	1,27			0,80	0,79			0,48		
Mon	Mon.Montmorillonita EE.UU	0,74	0,60			0,36	0,37			0,39		
MON NaOH-	Microprobeta 50% Montmorillonita con 1,5% sosa PF=0	0,76	0,85		3,13%	0,38	0,57		6,16%	0,46		16,78%
MON14P	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland PF=0	1,88	3,13	37%	147,61%	0,92	2,05	45%	141,92%	1,08	7%	137,75%
MON14CN7Y	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso PF=0	1,46	2,64	12%	92,44%	0,89	2,15	25%	133,78%	0,58	-21%	26,23%

- Tal como ocurría con la sílice soluble hay una cierta transformación en las fases aglomerantes que genera una insolubilización en medio ácido de los componentes trivalentes (ver tabla pag.siguiente).

	%	SiO2	SO3	R2O3	incremento real	incremento teórico	falta R2O3 %		
Ka		0,45	0,00	0,60	0,00	falta R2O3	falta R2O3	6,9% R2O3 en 14CP	0,97%
Ka NaOh			0,00	0,81	26%	diferencias con la tierra		11,2% de R2O3 en 14CN	1,57%
Ka14Cp		3,19	9,20	2,13	62%	1,57	0,56	0,01	18%
Ka14Cn7Y		1,56	8,30	1,37	41%	2,17	-0,80	-1,17	-51%
Cl		0,51	1,54	0,63	0,00				
Cl NaOh		0,62	1,56	0,66	5%				
Cl14p		2,98	8,60	1,06	38%	1,63	-0,57	-0,26	-19%
Cl14Cn7Y		1,69	8,11	1,08	39%	2,23	-1,15	-1,66	-68%
ill		0,45	0,71	0,88	0,00				
ill Na Oh		0,56	0,98	0,99	11%				
ill 14p		3,23	7,82	2,08	52%	1,96	0,12	0,05	4%
ill 14Cn 7Y		1,76	7,87	1,57	37%	2,56	-0,99	-1,53	-56%
Hall		3,72	0,31	6,19	0,00				
Hall NaOh		4,22	0,32	6,53	5%				
Hall 14p		5,58	7,68	6,46	-1%	7,50	-1,04	-0,87	-19%
Hall 14Cn 7Y		4,45	7,33	6,36	-3%	8,10	-1,74	-2,50	-39%
Mon		0,42	39,52	0,70	0,00				
Mon NaOh		0,54	35,57	0,72	3%				
Mon14p		3,08	62,35	1,74	59%	1,69	0,05	-0,07	2%
Mon 14Cn 7Y		1,65	70,54	1,35	47%	2,29	-0,94	-1,62	-57%

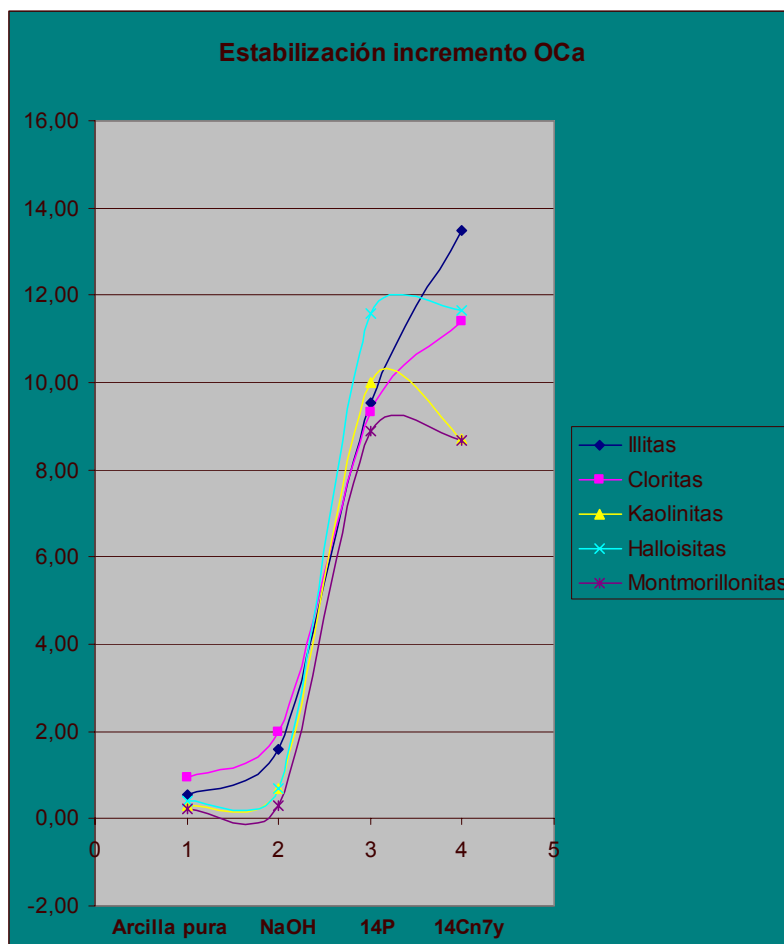
- La falta de porcentaje en peso obtenido del análisis del contenido de elementos trivalentes en las mezclas, respecto al resultado teórico de sumar los trivalentes de la arcilla pura con sosa y la cantidad contenida en el estabilizante empleado, es máxima en todas las estabilizaciones con yeso y cemento natural, alrededor de un 50-60%. También hay una pérdida del 19% en las Halloisitas y Cloritas estabilizadas con cemento portland. En Caolinitas y en Illitas con cemento incluso se aumenta el porcentaje.

		R2O3.Trivalentes		Incremento	Al2O3		Incremento	Fe2 O3		Incremento
		Por gravimetría.		relativo			relativo	%		relativo
	Espectre absorció fotocolorimétrica.									
CA	Calç en pols	2100								
P42.5	Ciment Portland	7,08			4,7			2,2		
PLS	Pols de totxo triturat									
CNR8	Cemento Natural Collet	11,32			9,1			2,1		
CUADRO RESUMEN PROBETAS DE ARCILLAS PURAS										
P42.5	Ciment Portland	0,9912			0,658			0,308		
14%CNR8	Cemento Natural Collet	1,5848			1,274			0,294		
0,14										
		%	dif.teórico		%	dif.teórico		%	dif.teórico	
Ka	Caolinita Cañada de	0,60			0,41			0,20		
Ka NaOH-		0,81		25,93%	0,43		4,65%	0,38		47,37%
Ka14P		2,13	0,3288	61,97%	1,33	0,242	67,67%	0,80	0,112	52,50%
Ka14CN7y		1,37	-1,0248	40,88%	1,07	-0,634	59,81%	0,30	-0,374	-26,67%
CL . Clorita		0,63			0,63			0,59		
CL NaOH-		0,66		4,55%	0,66		4,55%	0,60		1,67%
CL14P		1,06		37,74%	1,06		37,74%	0,99		39,39%
CL14P		1,08	-0,5712	38,89%	1,06	-0,258	37,74%	0,99	0,082	39,39%
CL14CN7Y		1,66	-0,5848	60,24%	1,08	-0,854	38,89%	0,58	-0,314	-3,45%
ILL Illita	Illita EE.UU	0,88			0,45			0,43		
ILL NaOH-	Illita EE.UU	0,99		11,11%	0,46		2,17%	0,53		18,87%
ILL14P		2,08		52,40%	1		54,00%	1,08		50,93%
ILL14P		2,08	0,0988	52,40%	1	-0,118	54,00%	1,08	0,242	50,93%
ILL14CN7Y		1,57	-1,0048	36,94%	0,99	-0,744	53,54%	0,58	-0,244	8,62%
HALL.Halloisita		6,19			5,71			0,48		
HALL NaOH-		6,53		5,21%	5,86		2,56%	0,67		28,36%
HALL14P		6,46	-1,0612	-1,08%	5,52	-0,998	-6,16%	0,95	-0,028	29,47%
HALL14CN7Y		6,36	-1,7548	-2,67%	5,56	-1,574	-5,40%	0,8	-0,164	16,25%
Mon	n.Montmorillonita EE	0,70			0,34			0,37		
MON NaOH-		0,72		2,78%	0,36		5,56%	0,36		-2,78%
MON14P		1,74	0,03	58,62%	0,85	-0,17	57,65%	0,89	0,22	59,55%
MON14CN7Y		1,35	-0,95	46,67%	0,82	-0,81	56,10%	0,53	-0,12	32,08%

M.e.q Capacidad de cambio catiónico

Se determinará la capacidad de intercambio del catión Ca^{++} , ya que es el más frecuente en los procesos de estabilización química, y debido a su alcalinidad tiene una capacidad mayor de desplazar a otros cationes unidos débilmente en las capas más externas de las arcillas.

mg/Kgr a partir de 5gr/100ml. ph.7 acetato amónico. y/o 5grs (negrita) con ataque CHI 10%						
por absorción atómica aunque da mayor variabilidad de los resultados. Car						
nº	MgO			Na ₂ O	K ₂ O	
	0,7% ex bueno			bajo	bajo	
	%	dif.teórico		%	%	
Ka	0,08			0,26	0,15	
Ka14P	0,20	-19%	252,08%	1,4	0,07	
Ka NaOH ^s	0,06		-29,19%			
Ka14CN7y	0,40	0%	601,66%			
CL . Clorita	0,05					
CL NaOH-	0,09		91,64%			
CL14P oh-	0,27	1%	205,05%	0,02	0,07	
L14CN7Y' oh-	0,18	-147%	94,89%	0,02	0,18	
ILL. Illita	0,09					
ILL NaOH-	0,11		24,38%			
ILL14P oh-	0,28	59%	145,32%	0,02	0,07	
L14CN7Y oh-	0,27	-68%	137,23%	0,02	0,18	
ALL.Halloisita	0,01					
HALL NaOH-	0,01		0,04%			
HALL14P oh-	0,28	96%	2315,51%	0,02	0,07	
LL14CN7Y oh-	0,15	-140%	1164,30%	0,02	0,18	
Mon	0,20					
MON NaOH-	0,21		5,54%			
MON14P	0,38	-4%	79,30%	0,02	0,07	
MON14CN7Y	0,39	-42%	84,75%	0,02	0,18	



De aquí podemos extraer dos datos interesantes, el tipo de arcillas presentes (ver tabla anexa m.e.q de intercambio de las arcillas) y la cantidad de Ca^{++} que retiene la arcilla y la posible materia orgánica presente, con lo cual podremos evaluar el % más adecuado para la estabilización de la Tierra.

En los análisis de las mezclas podemos observar que en las Caolinitas estabilizadas con sosa hay un destacable descenso de cal, seguramente debido a la formación de fases SCH. La estabilización con cemento hace aumentar de forma homogénea el porcentaje de O Ca en todas las mezclas, aunque hay una absorción o transformación del OCa en orden al 2% del peso total, lo que representa una cuarta parte. Cuando estabilizamos con yeso y cemento natural se produce el mismo efecto, aunque un 0.5% menos en Halloisitas e Illitas.

La presencia de cationes de magnesio Mg^{++} en las mezclas estabilizadas, es inferior a la que teóricamente debería haber, al sumar el contenido de la arcilla con sosa y el contenido de Mg del cemento. En las estabilizaciones con cemento Pórtland los análisis dan diferencias del 30%, siendo más del 80% cuando se utiliza cemento natural. Esto se explica por el desplazamiento que produce el magnesio sobre cationes con un potencial menor, como el sodio, contenidos en una parte de la estructura de las arcillas inalterable al ataque ácido del análisis.

Determinación de los Sulfatos.

Los sulfatos son sales del ácido sulfúrico (H_2SO_4), y su presencia se detecta mediante la determinación del radical SO_3 o trióxido de azufre, en el material tierra. Su presencia en porcentajes elevados compromete la durabilidad de la tierra estabilizada (**Sherwood ref. cruzada**). El Sulfato de calcio $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ y el magnésico $MgSO_4$ son los más abundantes.

Las últimas conclusiones sobre patologías de sulfato en la bibliografía internacional ^{18 22} dan las siguientes condiciones como condicionantes para la formación de Ettringita (trisulfoaluminato cálcico) y/o monosulfato secundarios expansivos, y/o la variante isomorfa de las Taumasitas ($<5^\circ C$, con árido calcáreo y dolomías, y más de un 10% $MgSO_4$), las cuales, además, reblandecen la matriz cementante con la consecuente pérdida de resistencia:

-El aporte intrínseco o extrínseco de sulfato en tierras estabilizadas con cemento Pórtland con $C_3A > 5\%$ (aluminato tricálcico), con una relación $SO_3 / \text{cemento} > 0.040$.

-Una humedad relativa $H_r > 60\%$, y/o que exista microfisuración debida a un curado deficiente, expansividad de las arcillas, movimientos hidrotérmicos, o estados tensionales límite.

-La no-existencia de efecto puzolánico o de cementos resistentes a sulfatos. Las adiciones activas generan una disminución del pH, con lo que disminuye la solubilidad de la fase C_4AH_{19} , redisolviéndose y repartiendo las tensiones generadas por la expansividad sulfoaluminatos.

Para la determinación cuantitativa de los sulfatos presentes se utiliza la UNE-370-75 y la UNE 7131, en las cuales se diferencia el tiempo de incineración adoptado. El método dado por la UNE 7-369-75 es demasiado laborioso, a la vez que no es cuantitativo.

La metodología que se utiliza es la siguiente:

-Se toma una porción de 5 ± 0.1 g de muestra representativa de la arcilla pura, previamente desecada a peso constante a $104^\circ C$.

- Se pesa la muestra y se introduce en un matraz, poco a poco, añadiendo agua destilada hasta completar un volumen de unos 100 cm^3 , y se añaden 10 cm^3 de ácido clorhídrico 0.05 N (dilución en volumen 10% HCl).

-La mezcla se mantiene durante 24 h a una temperatura entre 60 y $80^\circ C$, aunque se puede acelerar el ataque mediante 1 minuto de ebullición.

- Se pasa por filtro de banda ancha, y se lava con agua destilada caliente, para eliminar las trazas de ácido, lo cual se comprueba con papel tornasol.

²² Recerca sobre les causes de degradació d'Aglomerants aplicats a les façanes-solucions per a establir un control previ a les situacions de risc de desprendiments. Aut. Dr.F.Gomà. UPC.Lab.Recerca química Barcelona 1999.

-El filtrado se hierve y se añade simultáneamente a una solución en ebullición de cloruro de bario al 10 % (previamente disuelta en 50 cm³ de agua), que se va tirando gota a gota sobre el líquido caliente hasta que deje de precipitar.

- La solución se mantiene justo por debajo del punto de ebullición durante una hora cubriendo el matraz con un vidrio de reloj. Pasado este período de tiempo se vuelve a tirar algunas gotas de la disolución de cloruro de bario para comprobar que ha precipitado todo. También lo podemos efectuar dejando la disolución 24 horas en reposo, más un agitado de un minuto antes del filtrado.

-Lo que ha quedado en suspensión se filtra a través de un filtro Whatman nº 40 o Schleider, banda azul.

-El precipitado que queda en el papel de filtro, se lava unas diez veces con agua caliente, hasta que el agua de lavado no da precipitados en una solución R.A. de nitrato de plata.

-El papel de filtro húmedo se coloca en un gresol tarado (al rojo 1000°C de 15 a 30') y seco (10' en el desecador con sulfúrico).

-Se coloca la muestra en una mufla a 650°C para carbonizar lentamente el filtro, y así evitar que el papel se encienda y esparza los sulfatos. Seguidamente se aumenta la temperatura hasta que el gresol tome un color rojo débil y los elementos volátiles sean expulsados. Esto supone un período de media hora a 950°C.

-Posteriormente se enfría en un desecador y se pesa el contenido. El resultado se expresa en tanto por ciento respecto al peso de la muestra seca inicial.

n° Muestra

Residuo SO3.

n°

Estabilizantes

SO4 =
r.so3x1,2

max.Hormigón 2,3gr/Kgr

si >2gr/Kgr. utilizar cementos es

CA	Cal en polvo	
CEMI 42,5	Cemento Portland	3,01
CEM I 52,5/SR	Cemento Portland Molins PF=0	2,71
CEM I 52,5/SR	Cemento Portland Molins.T°C ambiente	2,63
Z	Cenizas Central Térmica Cercs	2,39
Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PF=0	99,00
Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PFT°Cambiente	48,60
CNR9	Cemento Natural Collet	3,27
CNR9	Cemento Natural Collet PF=0	3,76
El porcentaje es respecto a las arcillas y arena.		
14%CEM I 52,5/SR	Cemento Portland Molins PF=0	0,33
7%Y	Yeso /Sulfato de cal semihidrato PF=0	5,73
14%CNR8	Cemento Natural Collet PF=0	0,43
Código	Composición Microprobeta Grupol	SO3 %
Ka	Caolinita Cañada de Verich.PF=0 total insoluble	0,48
Ka	Caolinita Cañada de Verich.PF=0 fracción soluble	0,49
Ka	Caolinita Cañada de Verich	0,41
Ka	Microprobeta Caolinita 50%.PF=0	0,22
Ka14P	Microprobeta Caolinita 50%.14% C.Portland PF=0	0,55
Ka NaOH-	Microprobeta Caolinita 50%.1,5% NaOH PF=0	0,26
Ka14CN7y	Microprobeta Caolinita con Yeso y C.Natural PF=0	6,39
Ka NaOH-	Caolinita con sosa	0,20
Ka14P	Caolinita con Portland	0,54
Ka14CN7y	Caolinita con Yeso y C.Natural	6,42
CL . Clorita	Clorita Colcerola.Barcelona	0,02
CL . Clorita	Microprobeta 50%Clorita PF=0	0,01
CL NaOh-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa PF=0	0,01
CL14P oh-	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland PF=0	0,34
CL NaOh-	Microprobeta 50%Clorita con 1,5% sosa	0,01
CL14P oh-	Microprobeta 50% Clorita con 14% C.portland	0,33
CL14CN7Y' oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso PF=0	6,77
CL14CN7Y' oh-	Microprobeta 50%Clorita 14% C.Natural y 7%yeso	6,22
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland PF=0	0,33
ILL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso PF=0	6,16
ILL14P oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.portland	0,31
ILL NaOh-	Microprobeta 50% illita con 1,5% sosa	0,00
ILL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% illita con 14% c.natural y 7% yeso	5,89
HALL14P oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.portland	0,40
HALL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.natural y 7% yeso	7,59
HALL14P oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.portland	0,33
HALL14CN7Y oh-	Microprobeta 50% Halloisita con 14% c.natural y 7% yeso	6,16
MON14P	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.portland PF=0	0,33
MON14CN7Y	Microprobeta 50% Montmorillonita 14% c.Natural y 7% yeso PF=0	6,16

Parámetros fundamentales de las arcillas puras del Grupo I.

Las caolinitas se revelaban en los Antecedentes²³ como un mineral poco sensible a la cal comparadas con las montmorillonitas, en las cuales es altísima. La formación de silicatos y aluminatos cálcicos es lenta, debido a la dificultad de entrar y deshacer los puentes de

hidrógeno existentes entre la capa de Gíbsita y de silicio, y aparecen en fase amorfa o mal cristalizados, lo cual explica que no sean detectados por DRX. A pesar de ello las Illitas aún reaccionan más difícilmente debido a la presencia de iones K^+ no intercambiables que continúan manteniendo las uniones.

La cal reacciona sobre las arcillas debido al intercambio catiónico, con el Ca^{++} , que se origina en las uniones de las últimas capas cristalinas, empezando por el Na^+ , y siguiendo con toda la serie de Hoffmeister. Ésta reduce la plasticidad y la variabilidad volumétrica.

Entre éstas destaca la obtención masiva de SiO_2 soluble de las capas Tetraédricas de la Montmorillonita, debido a su estructura en capas triples unidas débilmente y en las que se presenta un gran número de sustituciones.

Código		Raw data			mg/Kgr	X-Plot value	Y-Plot value	Normalised data		
		SiO2	OCa	R2O3				%A	%B	%C
CEM I 52,5/SR		21,00	64,64	4,60		12,55	23,27	23,27	71,63	5,10
CNR8		18,99	60,33	9,00		15,71	21,51	21,51	68,30	10,19
Ka	Max-A	0,58	0,29	0,25		36,32	51,83	51,83	25,65	22,51
Ka NaOh	Max-A	2,07	0,69	0,33		33,12	67,21	67,21	22,23	10,56
Ka 14P	Max-A	4,89	10,02	2,87		22,42	27,49	27,49	56,36	16,15
Ka14Cn7Y	Max-A	4,34	8,72	1,72		19,75	29,37	29,37	58,98	11,64
Cl	Max-A	0,85	0,94	0,96		37,79	30,93	30,93	34,16	34,91
Cl NaOh	Max-A	1,12	1,99	1,23		30,87	25,85	25,85	45,92	28,24
Cl14p	Max-A	3,07	9,33	3,65		24,21	19,15	19,15	58,14	22,71
Cl14Cn7Y	Max-A	3,04	11,40	5,59		26,63	15,19	15,19	56,90	27,91
ill	Max-A	1,03	0,54	1,00		44,25	40,04	40,04	20,97	38,98
ill Na Oh	Max-A	2,60	1,60	1,78		38,61	43,55	43,55	26,74	29,70
ill 14p	Max-A	4,90	9,52	2,78		22,82	28,49	28,49	55,34	16,18
ill 14Cn 7Y	Max-A	2,57	13,49	2,96		16,74	13,53	13,53	70,91	15,55
Hall	Max-A	8,86	0,42	8,46		54,48	49,95	49,95	2,39	47,66
Hall NaOh	Max-A	16,29	0,69	8,93		49,43	62,89	62,89	2,65	34,46
Hall 14p	Max-A	18,75	11,58	9,74		35,78	46,79	46,79	28,90	24,31
Hall 14Cn 7Y	Max-A	18,39	11,67	9,65		35,59	46,31	46,31	29,39	24,30
Hall 14p	Max-A	18,75	11,58	9,74		35,78	46,79	46,79	28,90	24,31
Hall 14Cn 7Y	Max-A	18,39	11,67	9,65		35,59	46,31	46,31	29,39	24,30
Mon	Max-A	0,67	0,21	0,60		47,34	45,39	45,39	14,18	40,43
Mon NaOh	Max-A	1,15	0,30	0,85		46,33	49,94	49,94	13,25	36,81
Mon14p	Max-A	3,57	8,88	3,13		23,66	22,93	22,93	56,98	20,08
Mon 14Cn 7Y	Max-A	3,30	8,69	2,64		22,00	22,58	22,58	59,38	18,04

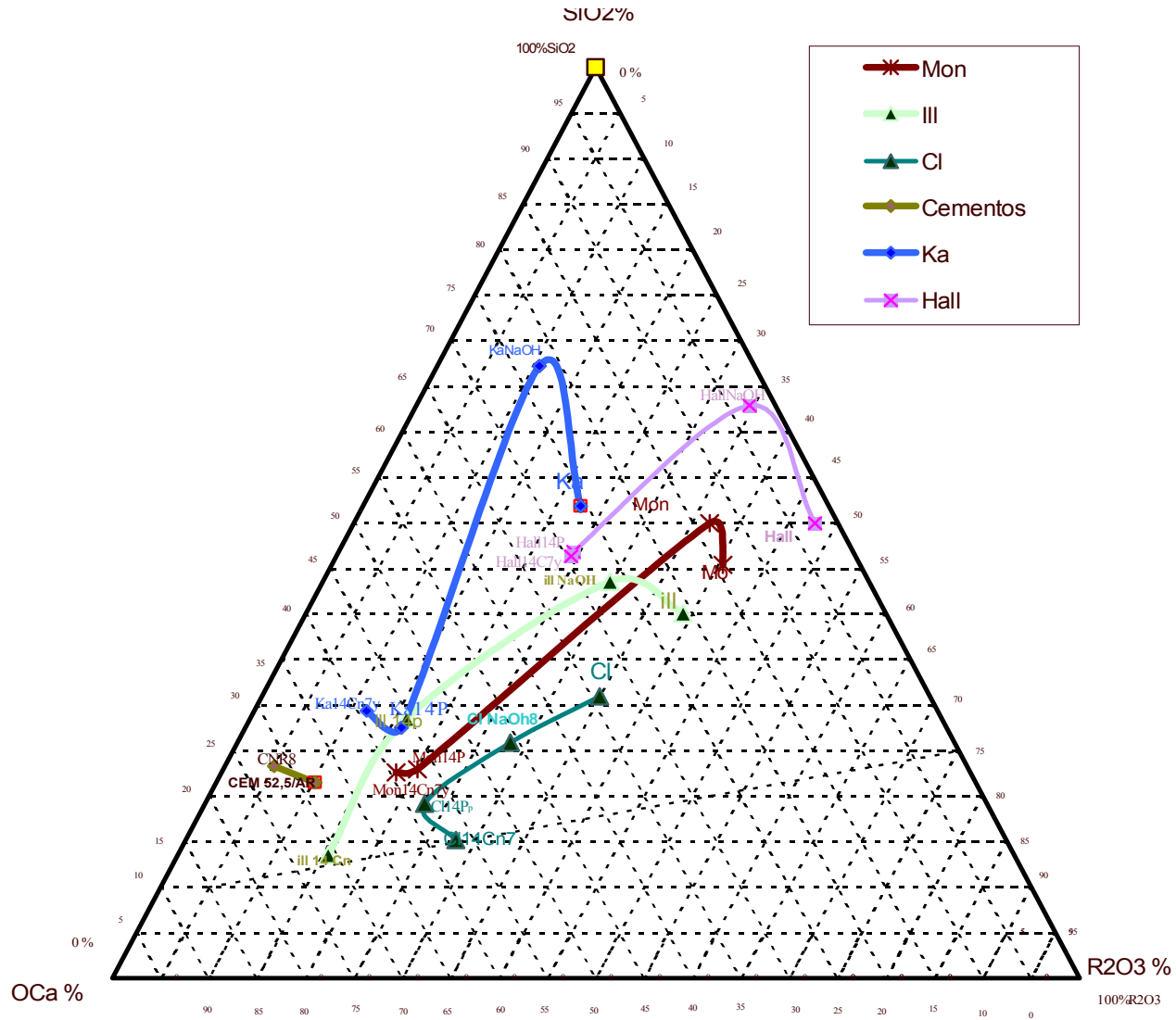


Gráfico 3 Diagrama Ternario de las fases solubles de la s Series del Grupo I de arcillas puras.

Correlación entre Fracciones Solubles y resistencia

Tal como ya se ha apuntado en esta Tesis, es básico demostrar como afectan proporcionalmente las fracciones solubles de las arcillas a su resistencia.

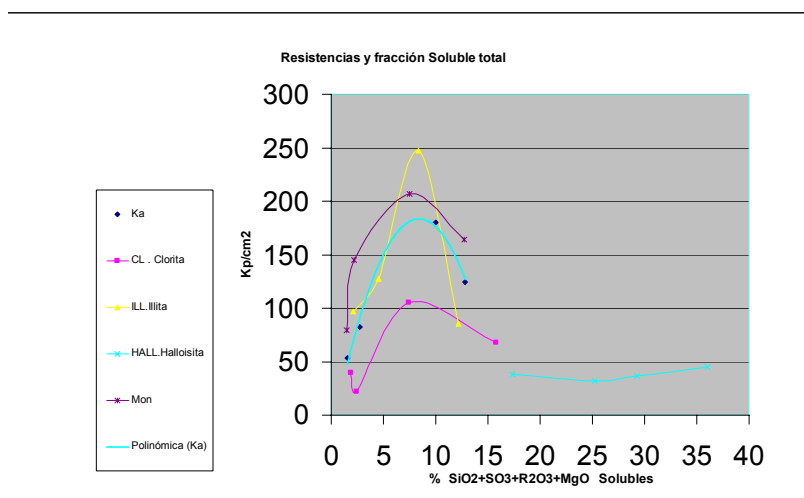
Para ello hemos efectuado varias gráficas que expresan la tendencia individual de cada arcilla y la tendencia general media de todas en conjunto.

En el eje de abcisas se han situado, en todas ellas, las resistencias medias obtenidas a compresión. En las ordenadas los porcentajes de las fracciones solubles.

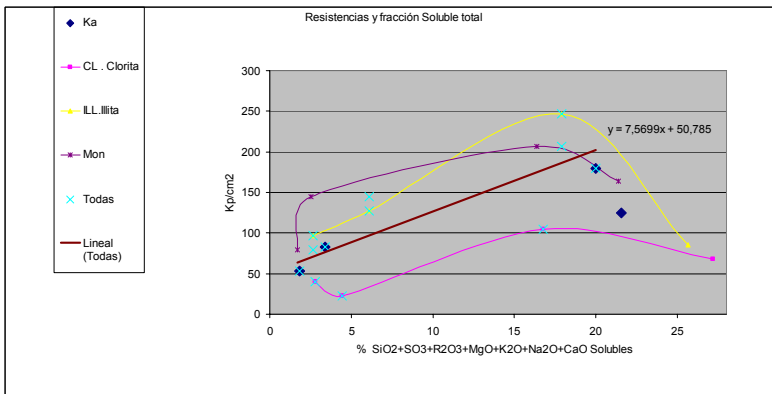
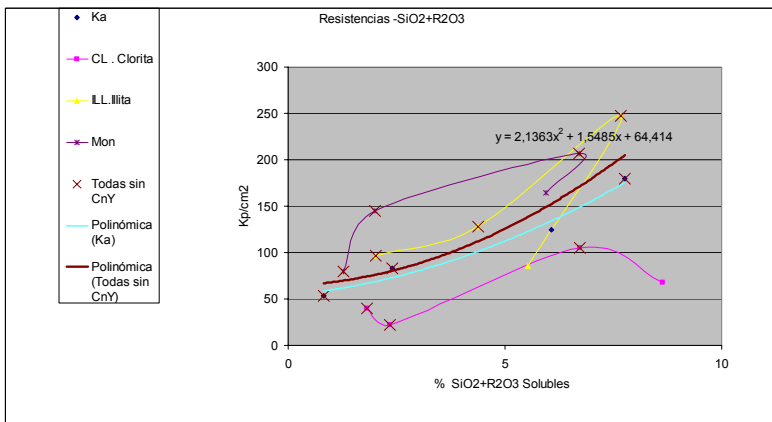
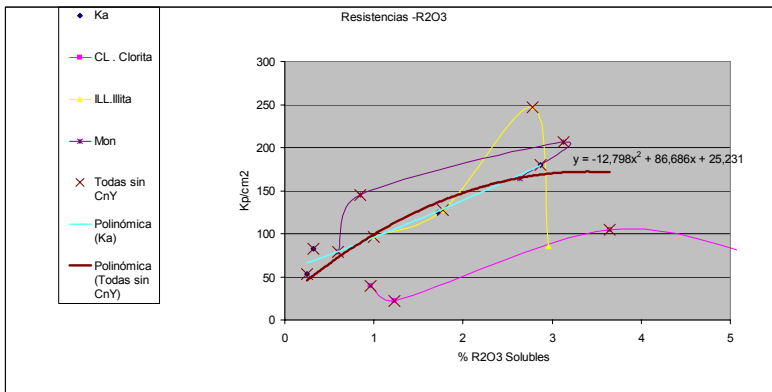
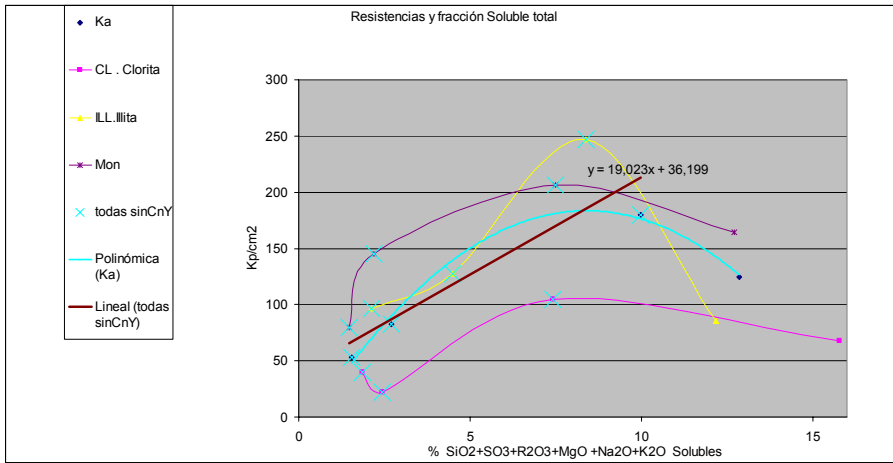
La gráfica inferior muestra el resultado del considerar todas las fracciones solubles en conjunto ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3 + \text{SO}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$) respecto a las resistencias.

Por una parte destaca la curva casi plana de las Halloisitas, que a pesar de ser la que posee un mayor porcentaje de elementos solubles, su aumento progresivo con la estabilización no incrementa la resistencia, con lo cual nos decide a apartarlas del método sintético que se va mostrando.

La otra consideración importante sería observar como el gran porcentaje de elementos solubles de las microprobetas estabilizadas con cemento natural y yeso, no se correlacionan con la tendencia mostrada por las estabilizaciones con cemento.



Así elaboramos el gráfico sin Halloisitas y estudiamos la tendencia resultante.



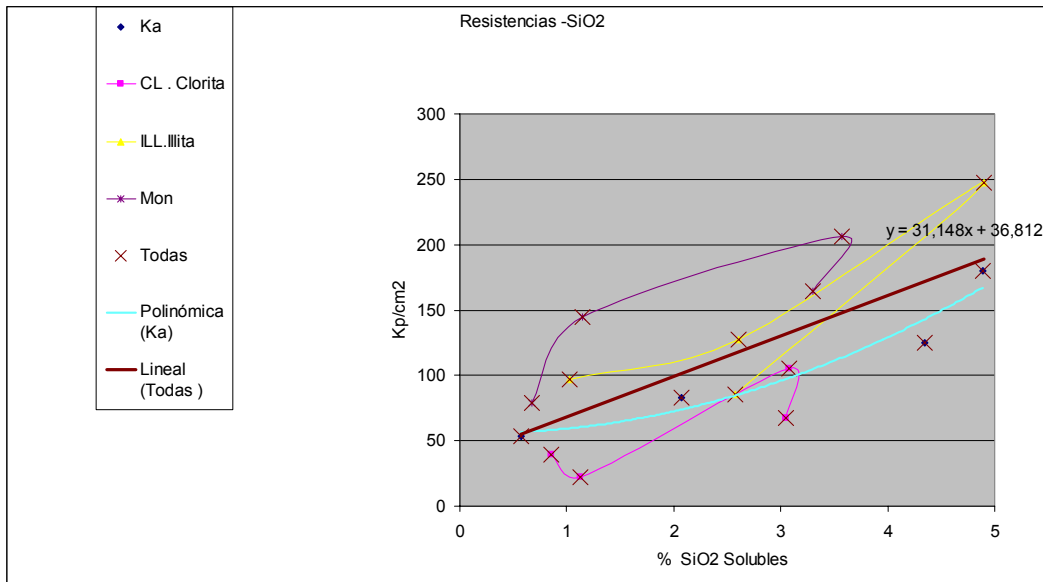


Gráfico 4 Relación entre Resistencia a compresión de las series de microprobetas Grupo I con los contenidos porcentuales de las fracciones solubles analizadas.

Valor real		SiO2	SiO2+R2O3	SiO2+R2O3+SO3+MgO+Na2O+K2O	SiO2+R2O3+SO3+MgO+Na2O+K2O+Ca
180,37	Ka14p	4,89	7,76	9,98	19,99
105,01	Cl14p	3,07	6,72	7,42	16,76
247,1	ill 14p	4,90	7,68	8,38	17,89
206,72	Mon 14P	3,57	6,70	7,50	16,38

En esta tabla se dan los valores usados en la gráfica anterior, producto de sumar parcial y totalmente todos los resultados de los análisis químicos efectuados sobre las microprobetas de arcillas puras.

Para determinar la desviación de la curva tendencia media, respecto a los valores reales de las microprobetas, usamos los valores más característicos de las muestras estabilizadas con cemento Pórtland.

A continuación se exponen los resultados de comparar los valores reales de resistencia a compresión, dados ya en la primera columna, con los de las respectivas ecuaciones de tendencia, procedentes de las gráficas.

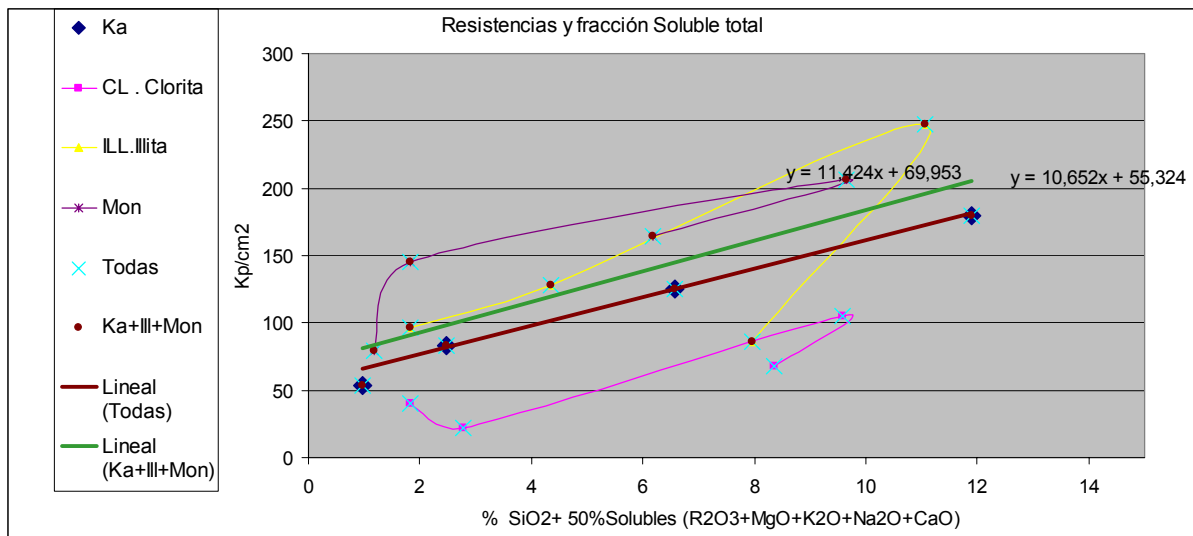
media Total solubles con OCa+SiO2	variación%	Total solubles con CaO	variación%	valor graf.SiO2+R2O2	variación%	valor graf.SiO2
Ka14p 203,7	-13%	202,96	-13%	376,65	-109%	204,35
Cl14p 150,3	-43%	178,34	-70%	314,43	-199%	122,30
ill 14p 196,0	21%	186,99	24%	371,89	-51%	205,04
Mon 14P 158,5	23%	175,49	15%	313,48	-52%	141,42
X	-3%	X	-11%	X	-103%	X
$y = 5,3423x^2 + 2,7991x +$						
Total solubles sin CaO	variación%	Total solubles con CaO	variación%	Solubles sin CaO	variación%	valor graf.SiO2
Ka14p 111,16	38%	202,96	-13%	225,80	-25%	122,12
Cl14p 83,52	20%	178,34	-70%	177,20	-69%	89,04
ill 14p 111,34	55%	186,99	24%	195,38	21%	122,39
Mon 14P 91,61	56%	175,49	15%	178,69	14%	96,78
X	42%	X	-11%	X	-15%	X
				con curva de tendencia sin considerar las micro CnY		con curva de tendencia sin considerar I

De ello, se extrae que las gráficas con menor desviación de resultados son la del SiO₂ ($\delta=5\%$) y por otro lado la del sumatorio de todos los componentes solubles (SiO₂+ R₂O₃+ SO₃+MgO +Na₂O +K₂O +CaO).

La media entre las dos ecuaciones de tendencia, da una desviación menor del 3%. en exceso.

La no-consideración de los sulfatos reduce las desviaciones de resultados de las probetas con CnY del resto.

De lo cual obtiene la siguiente gráfica, donde, además, aparece una curva secundaria de tendencia si se prescinden de los datos de las cloritas.



Como conclusión de éste apartado se puede afirmar que el porcentaje de SiO₂ presente es directamente proporcional a la resistencia de la microprobetas según:

$$\sigma^+ = 10.65 * (\% \text{ SiO}_2 + 50\% \text{ Solubles (R}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})) + 55.3 \pm 3\% \text{ Kp/cm}^2$$

o bien la expresión más sencilla y práctica:

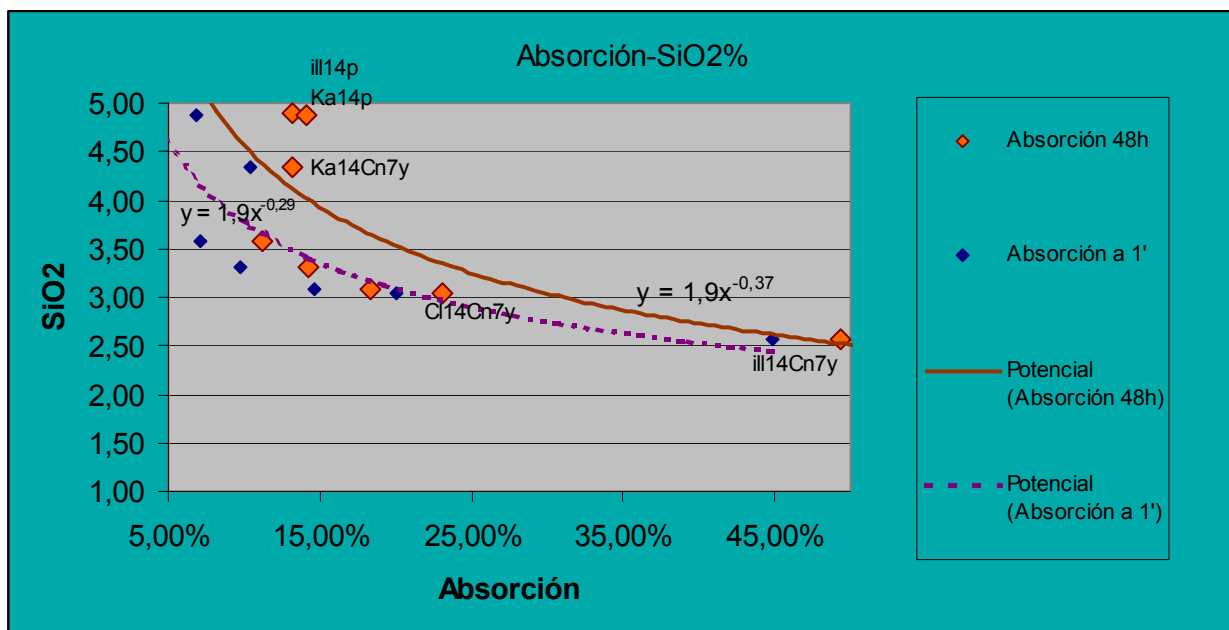
$$\sigma^+ = 31.2 * (\% \text{ SiO}_2 \text{ soluble}) + 37 \pm 5\% \text{ Kp/cm}^2$$

Correlación entre Absorción y Fracciones Solubles

En el proceso de endurecimiento de las arcillas estabilizadas, se reestructuran sus capas y uniones, debido a la interacción con el agua, el curado, los áridos estándar, los aditivos, las adiciones y los estabilizantes, lo cual también genera un cambio en las condiciones de absorción. El tamaño y disposición de los poros disminuye, favorecido por el crecimiento de cristales de silicato, aluminato o sulfoaluminatos.

Éste cambio de las condiciones ya lo hemos podido observar en el punto dedicado a la durabilidad, pero sí que ahora lo relacionamos con la tenencia de SiO₂.

En la gráfica inferior se deduce una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de absorción y la tenencia de sílice soluble. La tendencia es exponencial según la expresión $y = 1,9 \cdot x^{-0,37}$.



Nótese que en la zona comprendida en el 15% de Absorción coinciden, con diferentes contenidos de SiO₂, Illitas, Caolinitas y Cloritas, estabilizadas con cemento Pórtland, y la Caolinita con cemento natural y yeso. Ello quiere decir que las diferentes interacciones químicas que tienen lugar en los diversos procesos de estabilización pueden llegar a darnos propiedades muy similares.

Hipótesis final de aglomeración en función del contenido de las diversas especies de arcillas y de los diversos estados de hidratación del material "Tierra".

A partir de la lectura de los Antecedentes y de la Fase experimental del Grupo I, se considera los diversos contenidos de especies minerales y los estados de hidratación, derivados de las diferentes maneras de trabajar con la tierra. (Tapial-BTC y Adobe-Hormigones de Tierra). A posteriori, ésta será verificada experimentalmente, para establecer un método de estabilización científico, que incremente la calidad y prestaciones del material "Tierra".

Suponemos un contenido homogéneo de las más comunes, y que probablemente estarán presentes en nuestro trabajo como arquitectos con tierra, de las cuales es posible identificar a partir de diagramas ATD y RX. *Error! Marcador no definido.* : arcillas del grupo de las Esmectitas (Montmorillonita, Saponita, Beidellita, Fe-Montmorillonita, Fe-Saponita, Nontronita, esmectitas-vermiculitas intermedias, Al-esmectitas, Al-vermiculitas), las Vermiculitas; el grupo de las Kanditas (Caolinita-Nacrita-Dickita (parcialmente)), el grupo de las "Mica-like clay" e Illitas con un pic de identificación de 10 Å; las Cloritas (Mg, Al, Fe), con una dimensión interlamina de 14 Å; la Sepiolita, las Halloysitas, Pirofilita y el Talco; y algunas partículas de carbonato cálcico.

Por tal de determinar lo que puede suceder entre los componentes diferenciaremos varias categorías de interacción:

1.1- La Saponita y la Montmorillonita del grupo de las esmectitas, que debido al pequeño tamaño $<0.01\mu$ y su constitución mineralógica, poseen una gran capacidad de intercambio catiónico (80-160 meq. $6 \times 10^{23} \times 10^{-3}$ cationes), la capacidad de adsorción de agua interlaminar que provoca la disociación en láminas cristalinas de $100\text{Å} \times 10\text{Å}$, al tener deficiencia de catión en la capa octaédrica, y mucho más en la Saponita donde existen mayores sustituciones de Mg^{++} por Al^{+3} (deficiencia -)

1.2- Otras partículas de alta adsorción del agua, como es el caso de la Halloysita, que aunque tenga características de estructura química parecidas a la Illita (10-40 m.e.q.), la estructura física es diferente, pertenece a la serie isomórfica de las hojas triples dioctaédricas de la Pirofilita, como la Caolinita o la Montmorillonita, incluso algunos autores²³ la incluyen en el grupo de las caolinitas. Pero sus cristales se agrupan en forma tubular, lo que da capacidad para una alta adsorción de agua interlaminar a través de los cationes y grupos OH^- de la capa octaédrica, con un tamaño parecido a la Caolinita de $\cong 1\mu$ posee una capacidad de intercambio 20 veces superior debido a que hay actividad interlaminar, lo que casi no existe en la Caolinita debido a sus uniones por puentes de Hidrógeno (H..).

1.3- Y por último debido a su microestructura de mayor tamaño y de bajo intercambio catiónico, agruparemos al Talco, la Caolinita y la Dickita (grupo polimórfico de las Caolinitas, aunque muy poco abundante, donde aumenta en capacidad de cambio debido a que su estructura han habido sustituciones del Al^{+3} por Mg^{+2} o Fe^{+2}). Esto lo hacemos a pesar de que tengan diferente comportamiento plástico con la misma estructura reticular; **Error! Marcador no definido.**²³

Las capacidades de intercambio son bajas en ambos casos, < 2 meq en el Talco y de 2'2 a 1'5 meq en las Caolinitas, debido a los enlaces H.. entre las diferentes láminas de mineral. Al ser ambos de hoja triple T+O+T : El oxígeno desplaza a los grupos OH, lo cual aún provoca que no hayan tantas disociaciones en el momento de hidratarse.

Estos dos últimos tendrán un papel más de carga, que de alta actividad, aunque a través de los bordes podrán unirse con enlaces H.. o catiónicos a otras arcillas, a parte de que las que se encuentren más cerca, al secarse y aproximarse, pueden entrar en juego fuerzas polares de Van der Waals entre las caras, o de tipo electrostático entre caras y bordes.

2. Proceso de hidratación.

Diferenciaremos a priori dos estados según dos técnicas bien diferenciadas de construcción con tierra como son el adobe y el BTC.

El primer estadio de hidratación con una cantidad de agua de alrededor del 35%, permite tener una pasta fluida y moldeable, que acerca las arcillas a estar en su estado casi líquido,

lo que permitirá una liberación total de los cationes con poca fijación, como el Li^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Mg^{++} . A parte el agua provocará una doble capa mayor de halo de hidratación que permitirá a los cristales moverse y buscar mejores uniones, a la vez que el grupo de la Montmorillonita se combinará mucho mejor con el resto de las arcillas. En este segundo estadio el Ca^{++} del carbonato cálcico, o el presente en las mismas arcillas podrá formar nuevos materiales como sulfohidratos, aluminatos y silicatos cálcicos, cosa que seguramente en el estadio II no es posible.

El segundo se trata de un estado casi seco donde la cantidad de agua viene establecido, actualmente, por el ensayo proctor estático, dando contenidos de agua alrededor del 12-10% respecto al peso total del suelo.

En este estado tan seco el agua será absorbida rápidamente por las zonas más habidas de ésta, como pueden ser las partículas más finas y todas sus zonas interlaminares. La Saponita, la Montmorillonita y la Halloysita de forma heterogénea formaran esferas de hidratación, donde los cationes se encontraran distribuidos de forma exponencial respecto la cara del mineral.

Este efecto combinado con el de la presión, que se ejerce a la tierra o al suelo en este estado seco,

($\cong 20\text{-}40\text{-}50 \text{ Kg./ cm}^2$) da densidades muy altas, ya que no hay espacio para cristalizaciones muy ordenadas y de grandes cristales. Por el contrario se originan combinaciones más amorfas y sin demasiada floculación. Además el carbonato cálcico presente, casi no se habrá disuelto y entrado en juego para interactuar con las arcillas.

Debido al hecho de que las partículas se aproximaran mucho, el tipo de uniones será más forzado y a menor distancia, con lo que las uniones serán del tipo electrostático o de Hidrógeno, en vez de los enlaces de tensión superficial por deshidratación de los geles, manifiestos en el estado Y..

3. Hipótesis final del material.

Tomaremos para ello lo presentado en el estado 2 de hidratación, y considerando la utilización de un proceso básico de defloculación (componentes sódicos, humectación dos días antes) para permitir que reaccionen el mayor número de partículas posible, ya que en estado de floculación solo reaccionarían los bordes con enlaces débiles de Van der Waals, bajando bastante la posibilidad de obtener Al^+ o SiO^{+2} para formar nuevos silicatos y aluminatos, o una cantidad apreciable de cationes y carga residual negativa en las propias arcillas (según tipos y redimensiones), indispensables para obtener un buen número de uniones.

El material obtenido tendrá una matriz primaria cementante (1.1) de láminas dispersas de Montmorillonita y Saponita que através de enlaces electrostáticos y cationes como el Ca^{++} y Mg^{++} se uniran a la Illita (10-40 m.e.q) (en la propia naturaleza Illita y Montmorillonita ya se pueden encontrar unidos), a la Halloysita (10-50 meq), a la Dickita (2,2-1,5meq) y al Talco (2meq) en menor medida, directamente proporcional a la capacidad de intercambio iónico. Las uniones serán muy activas en todos los bordes, siendo difíciles en las caras T, y mucho más en la Dickita o del Talco. Sólo en éstas podría aparecer algún puente de hidrógeno entre ellas cuando la distancia entre partículas lo permita.

La presencia de Ca^{++} del propio carbonato cálcico disuelto por el CO_2 y la disolución lenta del Al^{+3} y el Si O_2 ($\text{Ph} > 12$) daría con el tiempo otra matriz por efecto puzolánico de gran resistencia formada por aluminatos y silicatos de cal ²³.

Del mismo modo la estabilización con cal, cemento o algún álcali, al crear una capa de hidratación con $\text{PH} > 12$, provoca ésta disociación de las capas periféricas y de las uniones catiónicas de las arcillas, liberando SiO_2 y R_2O_3 . Lo cual ya demostramos en la parte experimental. Al mismo tiempo [esta presencia complementaria de cationes \$\text{Ca}^{++}\$](#) , presentes en forma de hidróxido de cal, anula parcialmente las fuerzas de repulsión electrostáticas propias del primer estado de hidratación. Se produce una depresión en la doble capa y disminuye la distancia, por ello las fuerzas de Wan der Waals ganan a las de repulsión electrostática, dominantes en las estructuras dispersas y propias de dispersiones de arcillas. Así los cationes de Ca^{++} , que han aumentado la proporción de electrólito, generan una floculación de los geles, para crear estructuras cristalinas, ordenadas en angulos, no laminares. Su presencia es indispensable, sí se desea obtener una material durable, de densidad óptima, y poco sensible al agua.²⁴

La floculación aumenta directamente con la concentración de electrólito +, con la valencia de los cationes +, y con la temperatura. Y disminuye a la inversa del Ph, la constante dieléctrica y de la capacidad de absorción de aniones.

A medida que la suspensión coloidal de arcillas se fuera precipitando y deshidratando, las láminas se acercarían perdiendo importancia las fuerzas repulsivas negativas de las caras, y ganándola las positivas de los bordes junto con atracciones tipo Van der Waals, las cuales dominarían la estructura de todas las láminas de Saponita y Montmorillonita, que no hubieran reaccionado con las otras arcillas. Recordemos que su capacidad de intercambio es 50 veces superior que en el talco y la Dickita, y 10 veces superior que en la Illita o la Halloysita. Por tanto habrá un exceso de estas partículas del grupo de las Esmectitas para cubrir las caras y bordes del resto.

Esto junto con la presencia de la Halloysita puede dar un material bastante absorbente, lo cual resulta negativo a nivel de durabilidad. Llegados a este estadio se aconseja una estabilización máxima del 12 % de Ca^{2+} , o bien una reducción de las arcillas esmectitas. Esta permitirá eliminar los espacios interlaminares adsorbentes y sustituir uniones Van der Waals por catiónicas, que no se desharán en contacto con el agua. Por tanto se reducirá la expansividad, el índice plástico y el grado de absorción.²³[Error! Marcador no definido.](#)²⁵

²⁴ Cap. La estabilización. pag. 67. " Contruir con Tierra" T.II Aut. CRATERRE. Edit. Fondo Rotatorio. Colombia 1990.

²⁵ Reunión Hispano-Belga de Minerales de la Arcilla.CSIC.Madrid

Análisis experimental de las tierras usadas en varios proyectos arquitectónicos. GRUPO II PROYECTOS.

Se presenta cada tierra mediante una ficha característica, donde se determinan las principales características físico-químicas, y los ensayos utilizados en cada caso, que permitan configurar finalmente el método propio de la Tesis.

MUESTRA **AU**

En esta ficha se detallan los principales parámetros a considerar de la tierra denominada con el código **AU**, para su optimización como tierra estabilizada para su uso constructivo.

Localización geográfica

La fuente de extracción de la tierra se encuentra en la población de **Mont-ras i Sant Feliu de Guixols** en la comarca del **Baix Empordà**, en la provincia de **Girona (Catalunya-España)**.

Cómo factores geoclimáticos cabe considerar que el solar de extracción de la tierra, e igualmente zona de construcción, se encuentra en la periferia de la población, siendo una zona plana, desarbolada, sin riesgos de inundación y bastante aireada.

Toma de muestras

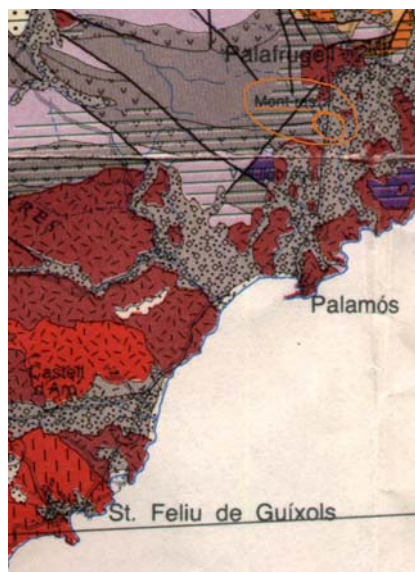
Se tomo una muestra de 3 Kgrs de tierra extraída de la cimentación del proyecto, de forma que se evitara la parte más superficial y orgánica del suelo.

No se presentó en la muestra ni raíces, piedras o bolos mayores de 5cms, ni la presencia de cualquier residuo impropio de la capa geológica original.

Consulta del Mapa Geológico

La consulta del mapa geológico del Instituto Minero y Geológico de España, se utiliza como fuente de información para la caracterización física de la muestra **AU**.

La localización geológica responde a conocer el posible origen de la muestra, y el sector y época geológica a que pertenece.



De ello se extrae que la zona corresponde a terrenos sedimentarios pleistocénicos del Cuaternario (gris con grafiado de gravas), con presencia de restos de granodioritas biotíticas, posible origen de las arcillas presentes (rojo oscuro con guiones) y una zona adyacente de metamorfismo de contacto con granitoides (rallado verde).

Observación Arquitectura popular local

Por el tipo de Arquitectura tradicional empleada y la presencia de piedra, es difícil ver viviendas tradicionales totalmente de tierra vista.

Se han localizado varias masías ejecutadas con el mismo material base, en forma tecnológica de tapial, revocado con mortero de cal y tierra.

En la zona se ubica industria cerámica, la cual utiliza arcillas ricas en illitas.

Observación de características organolépticas

Textura

La textura de la tierra es arcillo-arenosa, con presencia de grumos arcillosos compactos, provenientes de la meteorización autóctona de la roca madre. La arena es visible y se palpaba fácilmente con las manos.

La observación de campo no denota la presencia de arcillas expansivas o fisurables. El buen drenaje del terreno también indica que no existe un exceso de fracción arcilla impermeable en el perfil granulométrico.

La muestra con un índice bajo de humedad es fácilmente compactable con la mano (ensayo tapial), y si aumentamos el agua se muestra como un material plástico.

Los taludes del terreno son muy estables, compactos y poco erosionables, punto favorable para la utilización del material para la ejecución de tapial.

Color

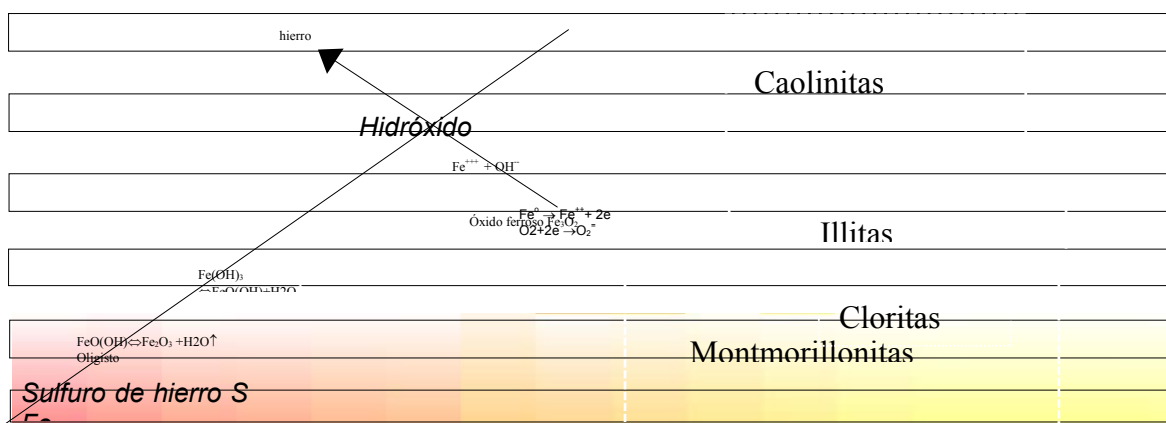
El análisis del color de la muestra **AU**, previamente secada y tamizada a $< 88\mu\text{m}$, y su contraste con la tabla anexa, determina que tenemos una tierra de color parecido a la illitas, sin presencia mayoritaria de sulfuros de hierro, materia orgánica, y sí hubiera óxidos sería en baja proporción.



Clorita	Caolinita	Illita	Montmorillonita	Halloisita
<p>Color gris claro o blancas, moteado o jaspeado, rojo, y naranja. Baja plasticidad, baja cohesión y no expansivo. Tamaño promedio $\cong 1\mu$</p>			<p>Se dan en formaciones calizas, de lutitas y pizarras. Color gris oscuro y negras, y moteado o jaspeado en color amarillo, naranja y gris, dispersión en color amarillo-café a rojo-café. Tamaño promedio $\leq 0.01\mu$. Altamente expansiva, muy plástica, permeabilidad extremadamente baja.</p>	

ILLITAS.
Formaciones de lutitas y pizarras, alta salinidad.
Agrietamiento intenso y profundo de 30 cm. o más, si son ricas en calcio espaciamiento de 5 a 6 cms.
Color café o café-rojizo, dispersiones amarillo-café a rojo-café.
Tamaño $\cong 0.1\mu$

MICA.
Partículas pequeñas de alta refracción, blancas (moscovita) o negras (biotita).
Sin cohesión, se meteoriza fácilmente, compactable.
Tamaño $> 1\mu$



Corrosión electrolytica del hierro.
Ataque por bacterias divibrosulfúricas, de pozos y del yeso, reducción enzimática (eliminación del O₂) que produce sulfuro de hierro color negro vivo

Determinación de la composición y de las propiedades físicas.

Preparación de las probetas.

La tierra presentaba piedras de tamaño superior a 5cms, y terrones compactados. por ello se hace indispensable homogeneizar el material y seleccionar el tamaño máximo del árido para conseguir una mezcla de tierra adecuada para la realización de BTC.

En obra, ésto se ha efectuado por tamizado, y por el proceso tradicional de defloculación natural de la tierra al dejarla al aire libre para que sufra un proceso de humectación-desección-gelifracción invernal. En el laboratorio se ha estandarizado la disgregación de los nódulos de arcilla mediante el empleo de 25 golpes de maza metálica de 1Kgr, dejándola caer desde 20cms de altura. Posteriormente se ha cribado el material por tamiz estandarizado de 25mm.



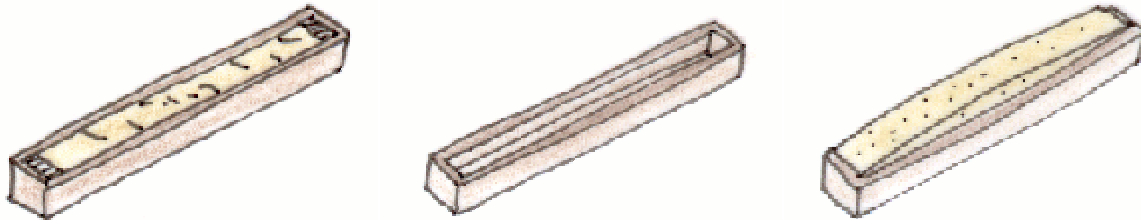
El estudio de laboratorio se efectuó con muestras de bloques comprimidos en una prensa GEO 50, aplicándoles una presión de unos 20Kp/cm², y dosificaciones de agua acorde a conseguir una densidad máxima. También se han utilizado probetas de laboratorio, elaboradas con un molde metálico desmontable de 5 cms de radio y altura 5 cms, relación 1/1, y una serie de microprobetas de 1.4x1.4x5 cms.



Las probetas AU14Cn 7Y 50F, con fibras de madera, yeso y cemento natural, tiene buen comportamiento a la retracción, aunque las resistencias son inferiores a la AU 7P, hay que terminar de valorar su uso para la bóveda de caña.

Ensayo de retracción

Llenamos un molde de 60x8x4 cm. o 60x4x4 cm ^{¡Error! Marcador no definido.} con la masa de tierra a estudiar, en un estado de humedad óptimo respecto al tipo de estabilización o



tipología a utilizar. Se efectua previo pintado con aceite desencofrante. La retracción a los 7 días deberá ser inferior a los 2 mm.

Los límites vendrán establecidos por:

Retracción lineal del tapial de terra estabilizada.

<2.0 mm/m.

Retracción lineal horizontal causada por el mortero.

En un muro de bloque de 30 x 30 x 30 cm., entre 1.07 i 2.0 mm por cada 5 m.

Dilatación térmica.

0.012 mm/m por °C.

Granulometría empleada

Cabe tener en cuenta que el criterio general granulométrico, adoptado para una tierra utilizada para construir, es de que tenga una proporción de arcillas entre el 15 y el 18%, aunque si elevamos el pasante granulométrico a 5 micras (fracción donde se encuentran las arcillas más fuertemente floculadas) nos encontramos entre el 21.1% y el 24%. Casi en la misma proporción deben aparecer los limos entre un 20-23%,.

También se puede notar que los límites establecidos por la parábola continua de Fuller, para garantizar un índice menor de poros, es correcta para las fracciones gruesas, pero cuando lo aplicamos a limos y arcillas estamos lejos de los límites que hemos adoptado anteriormente.

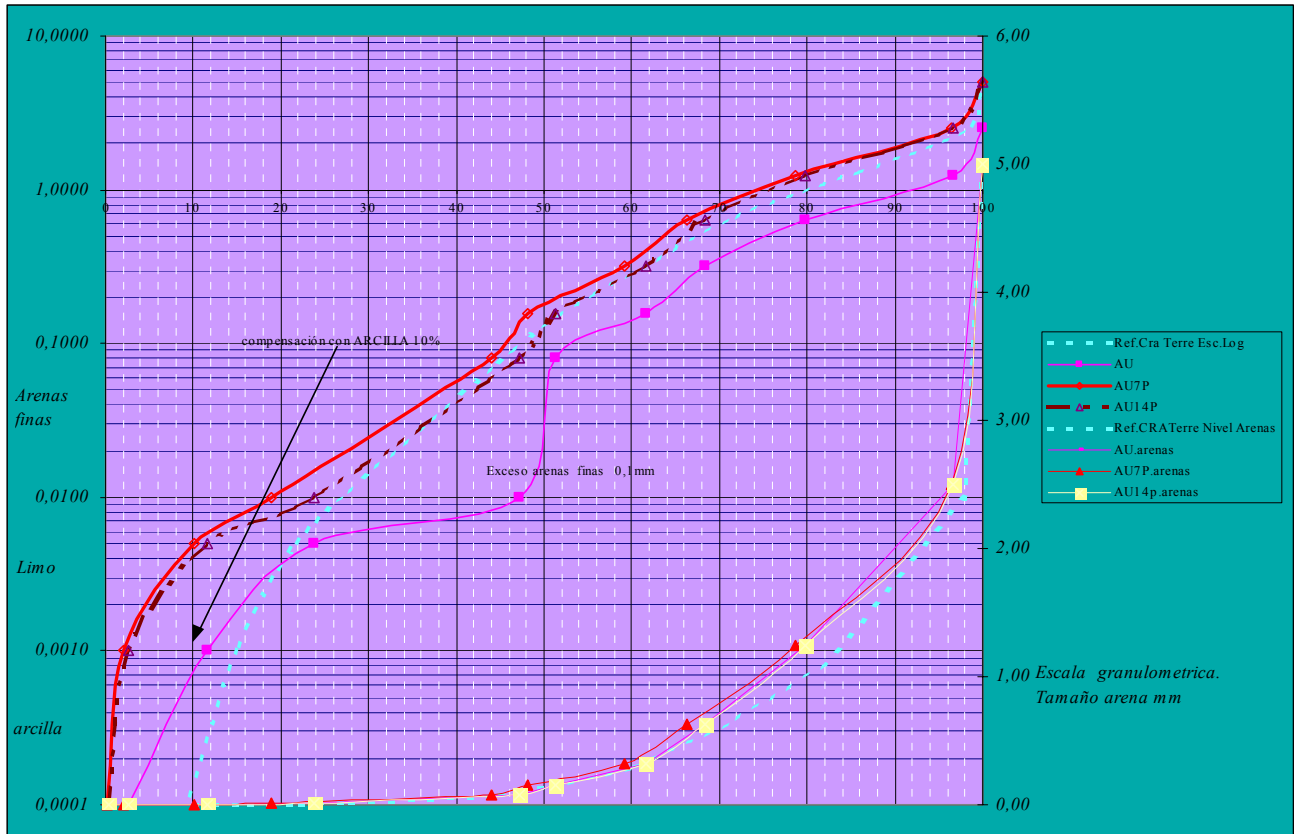
En las siguientes tablas se resumen los pasantes granulométricos, clasificados según la Norma ASTM, y referidos en peso absoluto en gramos y en porcentaje respecto al total. La fracción $<80\mu$ se establece de acuerdo el método Sedimentométrico de Brockville, descrito posteriormente..

RESUMEN PASANTES GRANULOMETRICOS										
Óptimo CRA.Terre .MOPT ????										
100	98	82	71	60	52	44	28	24	18	
100	98	82	71	60	52	44	27	21,1	14,9	9,4
5,00	2,39	1,10	0,63	0,28	0,16	0,0700	0,0100	0,0046	0,0010	0,0001
Tamaños en mms.							10micras	5micra	1micra	<1m
5,00	2,50	1,25	0,63	0,32	0,16	0,0800	0,0100	0,0050	0,0010	0,0001
referencia curva de Fuller no sirve . ver pasantes inferiores										
100	70,71067812	50	35,4964787	25,29822128	17,60681686	12,64911064	4,472135955	3,16227766	1,414213562	0,447213595
100,00	96,21	77,15	64,13	56,48	44,75	40,20	13,59401808	8,365549589	1,568540548	0

GRANULOMETRIA METODO PROPIO BASADO EN ASTM D-422 Y NLT-104/91/ NORMAS CEDAZOS UNE 7050/ASTM E 11-39										
Cantidad óptima de muestra 200grs. <2500 μ										en micras
secado < 60°C										
500 cm ³ agua destilada añadida por etapas										
Código ASTM N°5	N°8		N°16		N°30		N°50		N°80	
intermedia propia P=5000	%	P>2390	%	P>1100	%	P>630	%	P>280	%	P>155
o también UNE P=5000	%	P>2500	%	P>1250	%	P>630	%	P>320	%	P>160
ASTM P=4750	%	P>2380	%	P>1190	%	P>590	%	P>297	%	P>177
11,5	3,79118196	57,8	19,0548102	39,5	13,0218859	23,2	7,64829752	35,6	11,7361807	13,8

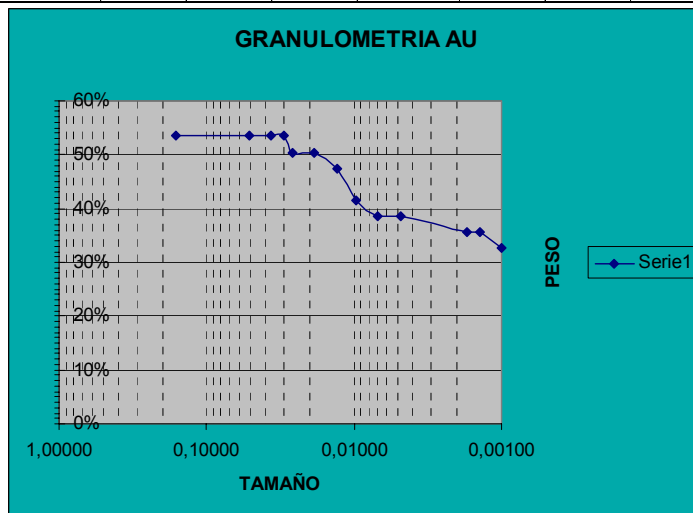
	limos	<100 μ =1% max. en hormigón		arcillas		arcillas		arcillas	
N°200		<2 μ max 0.1% en hormigón		floculadas					
P>70	%	P>10	%	P>5 μ	%	P>1 μ	%	P<1 μ	%
P>80	%	P>10	%	P>5 μ	%	P>1 μ	%	P<1 μ	
P>74	%	P>10	%	P>5 μ	%	P>1 μ	%	P<1 μ	
80,7	26,60	15,86	5,22846849	20,62	6,797009041	4,76	1,568540548	0,00	0
80,7	24,79	34,28	10,5295948	12,79	3,928953267	10,23	3,143162613	6,14	1,885897568
80,7	24,79	34,28	10,5295948	12,79	3,928953267	10,23	3,143162613	6,14	1,885897568
80,7	24,79	34,28	10,5295948	12,79	3,928953267	10,23	3,143162613	6,14	1,885897568

De los resultados expuestos se comprueba el perfil granulométrico, lo cual denota un descenso notable en la fracción de arenas finas $<0.1\text{mm}$. Ello se compensa a partir de la incorporación de los estabilizantes en un 7% o 14%, dando una curva más continua, con un perfil cercano a la curva patrón tomada del CRA Terre, la cual está basada en muchos casos experimentales reales.



Determinación de materiales finos y su contenido

SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.						SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.													
C. corrección menisco	-4																		
Cm .corrección 0 según líquido	-3						AU	MUESTRA LLUIS AUQUER											
Coef.corrector probeta 1000cl	3																		
densidad unitaria inaccesible.Peso especif	2,67	2,70	restos pasantes por <88µ			agitado 30" a 3cl/s													
Coef. a densidad	0,99	20 golpes antes 1a. lectura 5 en las otras														10			
peso total finos	49,1	0,02																	
Tiempos	0,1	1	2	3	4	8	16	30	60	120	960	1440	2880	resto					
Temperatura (valor absoluto)	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18	18	18	19					
Ct. corrección temperatura	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,05	0					
Ra. lectura sobre menisco	2,000	2,000	2,000	2,000	1,500	1,500	1,000	0,000	-0,500	-0,500	-1,000	-1,000	-1,500	-1,500					
Re.Lectura corregida	26,73	26,73	26,73	26,73	25,23	25,23	23,73	20,73	19,29	19,29	17,85	17,85	16,35	0					
retenido %sobre los finos	46,54%	0,00%	0,00%	0,00%	3,00%	0,00%	3,00%	6,00%	2,88%	0,00%	2,88%	0,00%	3,00%	0,00%					
R.corregido menisco	18	18	18	18	16,5	16,5	15	12	10,5	10,5	9	9	7,5	7,5					
L. de la tabla STOKES	13,33	13,33	13,33	13,33	13,67	13,67	13,83	14,33	14,67	14,67	14,83	14,83	15,17						
L/tiempo	133,3344	13,3334	6,6667	4,4445	3,4167	1,7083	0,8646	0,4778	0,2444	0,1222	0,0155	0,0103	0,0053						
coef. K.	0,01410	0,01410	0,01410	0,01410	0,01410	0,01410	0,01410	0,01410	0,01395	0,01395	0,01380	0,01380	0,01380						
D mm de la partícula	0,16281	0,05149	0,03641	0,02973	0,02606	0,01843	0,01311	0,00975	0,00690	0,00488	0,00172	0,00140	0,00100						
Pasantes %	53%	53%	53%	53%	50%	50%	47%	41%	39%	39%	36%	36%	33%						
peso particulas	22,37	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	1,50	3,00	1,44	0,00	1,44	0,00	1,50	16,35					
peso total finos	49,1																		



Estudio de los coeficientes de forma.

El coeficiente de forma de los áridos no presenta estratificación laminar, redondeo, o cantos frágiles que puedan provocar una pérdida de adherencia y cohesión en la unión aglomerante-árido.

Índice de plasticidad Wp WI

Se determinará en este apartado sólo los índices de Atterberg correspondientes a la fracción <70µ de las arcillas y limos. éstos daran un mayor conocimiento de la tipología de arcillas que estamos tratando.

Respecto al límite plástico sería preferible usar el método del Pflkorn.

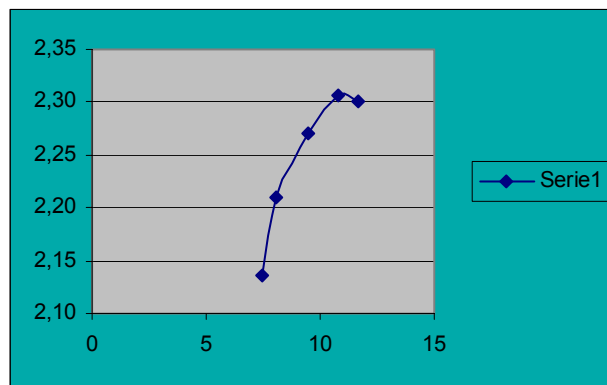
Wp.Plástico		WL.Líquido		Index plasticitat	Activitat.
plasticidad%	mínimo 6grs tongadas de 2grs	método ASTM			argiles.

cilindro 3mm							
$(Pw^*-Ps/Ps) \times 100$	PW**	PS	$((Pw^*-Ps)/Ps)$	PW**	PS	Wl-Wp	Ip/argila %
Bajo caolinitas/medio Illitas-micas/alto montmorillonitas							
Wp.						Ip.	Act.
16,45%	90,6	77,8	21,34%	121,1	99,8	4,89%	0,49%

Humedad óptima

-Densidades máximas. Variabilidad con la estabilización.

Por determinación de campo y por laboratorio se indica el 10.39% con el mejor índice para la ejecución de tapial o BTC, un poco por debajo del límite de plasticidad.

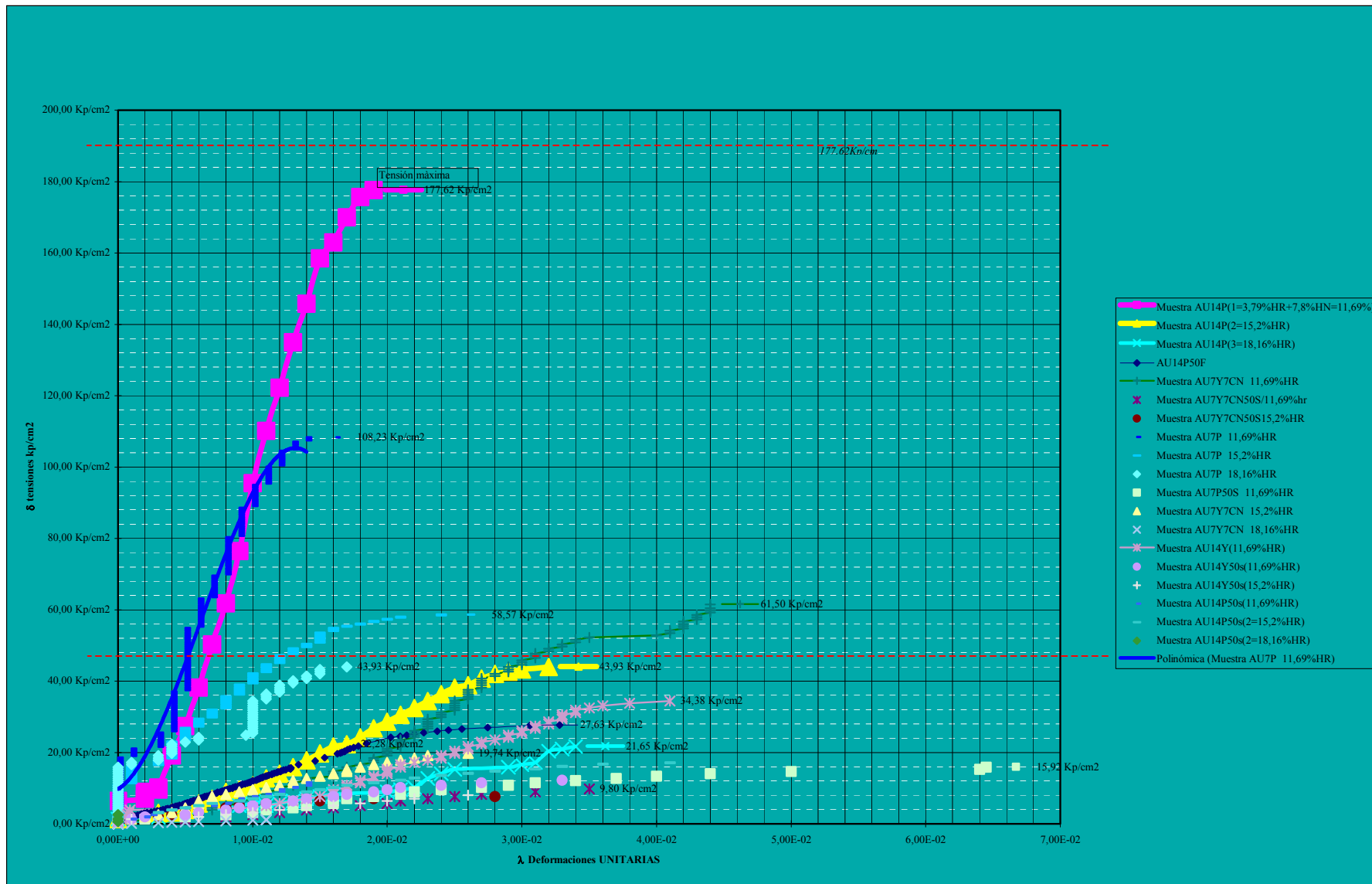


Resistencias. Variabilidad con la estabilización.

Códigos muestras	COMPOSICIÓN EN %							RESISTENCIA EN Kp/cm ²					En rojo problemas de durabilidad 1 o 2 años Desviación σ Prensa grande
	CN	CA	Y	T	SF	R	H ₂ O	14 días	28 días	42 días			
AU40 40Ra 13Cn7Y	13	-	7	-	40	40	15		73,12	90,90	50,39	± 7,10	
AU40 40Rb 10Ca10Y	-	10	10	-	40	40	18		37,55	53,36	71,47	± 12,61	54,32
AU40 40Rc 20Ca	-	20	-	-	40	40	19		32,61	51,38	60,75	± 7,96	
AU20 60R1 13Cn7Y	13	-	7	-	20	60	15			60,77	82,65	± 2,35	
AU40 40Rh 13Cn7Y	13	-	7	-	40	40	13,1	35,81		78,66	61,28	± 3,23	47,04
AU48 32Rcg 13Cn7Y	13	-	7	-	48	32	14,6	35,70		56,52	84,52	± 16,45	
AU32 46Re13Cn7Y2T	13	-	7	2,4	32	45,6	12,5	47,00		80,45	34,26	± 11,44	
AU32 48Ri 13Cn7Y	13	-	7	-	32	48	12,5		82,61		51,02	± 4,19	56,35

* en azul muestras mejores

en rojo poca agua de amasado



Durabilidad-Absorción de agua.

La probeta estabilizada con 6Portland +6% cal + 12% polvo de ladrillo muestra durabilidad total bajo inmersión, a parte de que los resultados de resistencias daban igual que la AU 14p.

Para la determinación de todos los parámetros físico-químicos se han utilizado todas las Normas Nacionales UNE y NTE, y las Internacionales ASTM expuestas en los antecedentes, y principalmente las que se reproducen en el capítulo de Anexos. A medida que se ha ido avanzando en la metodología de trabajo se han ido aplicando variantes en los principales métodos de laboratorio, muchas en función de la temperatura $<60^{\circ}\text{C}$ y de la preparación de la muestra, para evitar los problemas que se



exponen en el capítulo correspondiente a la Crítica de los Antecedentes.

Ilustración 6 Ensayo inmersión. Los de absorción dan porcentajes muy bajos.

Coefficiente de transmisión térmica

Para determinar el coeficiente de conductividad térmica de los bloques AU realizaremos un ensayo tipo tomando como a referencia la norma **UNE 92 204:1995. "Aislamiento térmico. Determinación de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario"** y a los ensayos presentados anteriormente de la Universidad de Saskatchewan. Éste ensayo se ha efectuado gracias a la colaboración del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Girona.

Para conocer el coeficiente de conductividad térmica λ del material objeto de estudio (en este caso el BTC AU), lo que se hace es determinar el flujo de calor transmitido de una cara caliente a una mas fría, midiendo las temperaturas del aire y de las superficies

a los dos lados de la muestra, y las medidas de la muestra (grueso y superficie). Se debe conseguir que el régimen de transmisión sea estacionario, (las temperaturas han de ser constantes a lo largo del tiempo) para poder encontrar el flujo de calor que pasa de una cámara a la otra.

Para la determinación de este coeficiente de conductividad, necesitamos conocer las resistencias superficiales que afectan a la muestra que se está ensayando. Se puede considerar que el flujo atravesará de manera horizontal el bloque que actúa como un cerramiento vertical entre dos habitaciones interiores, y según tablas²⁶ tenemos que las resistencias superficiales son $1/h_c=0,11$ y $1/h_f=0,11$ (m^2C/W), es decir $R_s = 0,22$ m^2C/W

Una vez conocido el coeficiente de resistencia térmica superficial, por medio de unas fórmulas de cálculo, nos será fácil encontrar el coeficiente de conductividad del material.

A partir de este coeficiente de conductividad térmica λ ($W / m \text{ } ^\circ C$) se encuentra la resistencia térmica del material K ($m^2 \text{ } ^\circ C / W$) y el coeficiente de transmisión de calor (transmisión térmica) C ($W / m^2 \text{ } ^\circ C$)

Para la simplificación del ensayo térmico, y de un bloque representativo. Se ha realizado una caja

Esta caja se ha construido a pequeña escala de una caja caliente calibrada^{foto 1} siguiendo las indicaciones de la norma, que establece que haya una temperatura exterior controlada, y dos habitaciones interiores separadas para la probeta a ensayar. A una de estas dos habitaciones se le colocará una fuente de calor que suministrará una determinada energía, que se transmitirá a través del material y servirá para calcular las características del material a ensayar.

Estas dos habitaciones las llamaremos: - habitación caliente o de medida (donde se colocará la resistencia) – habitación fría (en el otro lado de la probeta). En construir la caja aislando se ha diseñado unas habitaciones lo más reducidas posibles para minimizar los posibles errores susceptibles de producirse para la convección del aire en el su interior y para transmisiones a el exterior que aumenten al incrementar la superficie de contacto.

²⁶ NBE-CT-79 Norma Básica de la Edificación, Condiciones térmicas en los edificios. MOPT. Madrid 1989



La caja se ha construido con corcho de 80 mm de grueso, con unos encajes para las probetas de manera que se reduzcan los posibles puentes térmicos. Como que las medidas de las muestras varian, se ha dado a la caja calibrada de una pared móvil que permitirá ensayar muestras de diferentes medidas. La tapa se ha forrado con planxa de fibra de vidrio de 30mm, que servirá para que, una vez colocada la tapa y comprimida con los caracoles, se eviten posibles fugas de calor de una habitación a la otra, ja que no todas las muestras tienen la misma medida.

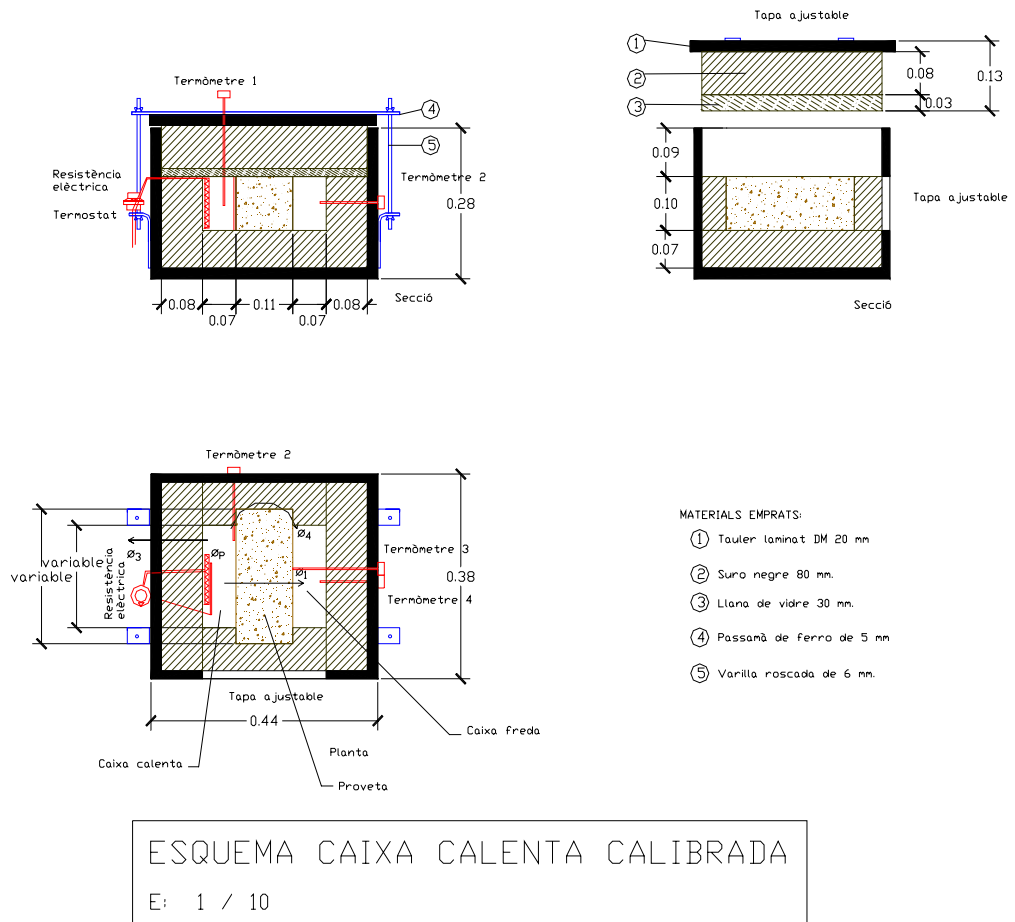
Una vez se coloca la probeta para ensayar los encajes correspondientes ^{foto 2}, se asegura bien que quede completamente cogida, (fijándola con tiras de fibra de vidrio si es necesario), **presa ladoeralmente** para la pared móvil y para la tapa, que está dotada de unos caracoles para poder apretarla.

Para realizar el ensayo se accionará una resisténcia conectada a un termóstato ^{foto 3} a una temperatura de 40°C (el termóstato no es un equipo de precisión), con la sonda delante de la resisténcia.

Para controlar la temperatura se dispondrá de dos termómetros y dos sondas digitales con los que se miden las temperaturas del aire en las habitaciones caliente y frio, y la temperatura en las caras del material analizado ^{foto 4 y 5}. En la habitación caliente las lecturas del termómetro no nos dan una temperatura constante de 40°C, si no que se pueden diferenciar claramente ciclos de unos 45 minutos de duración con unas temperaturas que oscilan de los 48 a los 37°C aproximadamente, la temperatura que consideran para al tratamiento de los datos será la mediana aritmética de este ciclo, en cambio en la habitación fría, la temperatura ira aumentando progresivamente hasta estabilizarse.

Este será el momento en que consideraremos que las temperaturas han llegado a un régimen estacionario, así pues, se puede decir que el flujo²⁷ también se habrá estabilizado.

El ensayo se realiza ante todo con muestras de las que se conoce el coeficiente de transmisión térmica λ con tal de verificar que la caja da unos resultados fiables, estas muestras són un ladrillo silicocalcáreo perforado y un trozo de corcho negro.



Para encontrar el coeficiente de conductividad térmica, utilizaremos las fórmulas siguientes:

$$Q = S \lambda (T_1 - T_2) / e$$

On:

²⁷ El flujo no es exactamente constante, ya que depende del calor, pero consideramos como flujo constante el calculado con la temperatura mediana de un ciclo nocturno por el termostato.

$Q = \text{Calor (watts)}$
 $S = \text{Área (m}^2\text{)}.$
 $(T_1 - T_2) = \text{Incremento de temperatura entre las caras del ladrillo (}^\circ\text{C)}$
 $e = \text{grueso (m)}$
 $\lambda = \text{conductividad del ladrillo (} \lambda = 0.87 \text{ W/ m}^\circ\text{C)}$

$$Q = S K (T_c - T_f)$$

On:

$S = \text{Área (m}^2\text{)}.$
 $K = \text{Coeficiente de transmisión térmica (W/m}^2\text{a}^\circ\text{C)}$
 $(T_c - T_f) = \text{Incremento de las temperaturas. Del aire entre la habitación caliente y fría.}$

$$K = 1 / (R_s + (e / \lambda))$$

On:

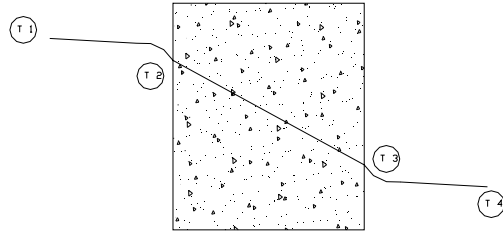
$R_s = \text{Coeficientes de resistencia térmica } 1/h_c + 1/h_f \text{ (m}^2\text{a}^\circ\text{C/W)}$
 $e = \text{Grueso (m)}$
 $\lambda = \text{conductividad (W/ m}^\circ\text{C)}$

De cada ensayo tenemos los valores de T_c , T_f , T_1 , T_2 , S , e , a mas conocimiento los valores de la resistencia superficial que será constante para todas las muestras (0,22 $\text{m}^2\text{a}^\circ\text{C/W}$), por tanto estamos listos para encontrar el coeficiente de conductividad térmico de los BRC. Para hacerlo sólo se ha de resolver un sistema con las tres ecuaciones anteriores y tres incógnitas (λ , K , Q)

- 1.- $\lambda = (K e) / (1 - K R_s)$
- 2.- $Q = S K (T_c - T_f)$
- 3.- $Q = S \lambda (T_1 - T_2) / e$

Donde:

$R_s = \text{Coeficientes de resistencia térmica } 1/h_c + 1/h_f \text{ (m}^2\text{a}^\circ\text{C/W)}$
 $e = \text{Grueso (m)}$
 $\lambda = \text{conductividad (W/ m}^\circ\text{C)}$
 $Q = \text{Calor (watts)}$
 $S = \text{Área (m}^2\text{)}.$
 $(T_1 - T_2) = \text{Incremento de temperatura entre las caras del ladrillo (}^\circ\text{C)}$
 $(T_c - T_f) = \text{Incremento de las temperatures. del aire entre la habitación caliente y fría.}$
 $K = \text{Coeficiente de transmisión térmica (W/m}^2\text{a}^\circ\text{C)}$



ESQUEMA DE TEMPERATURES

Lecturas y Resultados

Datos obtenidos en el ensayo de las muestras y de las muestras patrón de ladrillo y corcho. A la vez se dan datos bibliográficos de Coeficientes de Conductividad para comparar.

Resultados de los bloques AU:

e= 0,3 espesor
T= 8 invierno

ϕ Desfase térmico= $T/2 \cdot e/\lambda \cdot \sqrt{\lambda c \delta / \pi T}$ 7,99 horas
 μ factor de amortiguamiento= $\exp(-e \cdot \sqrt{\lambda c \delta / \lambda T})$ 0,82

Factor a 0°C
0,760346053

$\lambda =$	0,85	0,955480226
$\lambda =$	0,6	K= 1,13 W/m ² °C
$\lambda =$	0,92506938	La terre matériau d'avenir?. Les caractéristiques thermiques de la terre Dm aparente

°C 1,85 Tn/m³

$\lambda =$	0,098x10 ^{0,548ds}	→	1,01 sale más que en el ensayo
$\lambda =$	0,415 W/m °C	a 0 °C	K= 1,06 W/m ² °C
$\lambda =$	0,546 W/m °C	a 35 °C	K= 1,30 W/m ² °C

Para a cumplir en zona Y según la NBE-CT-79 K<1,4

C (capacidad calorífica)= 900J/Kgr °C 0,25wh/kg°C =Ds.0,83.10⁶J/m³°K
0,25

Aislamiento acústico

En el campo de la acústica no he encontrado ningún estudio serio sobre la tierra estabilizada. Los únicos datos, entre una amplia bibliografía consultada, aparecen en una publicación del MOPT. 'Bases para el diseño y Construcción con Tapial', donde se menciona que en muros de 50cms se alcanzan aislamientos de 58 Db. a Frecuencias de 500Hzs.

MEDIOS AUXILIARES.

Para el desarrollo de la investigación se ha contado con el laboratorio ambiental de la ETSAB, y con la ayuda del encargado (Ramon). En el se ha contado con un sonómetro frecuenciómetro, una fuente electroacústica i baffless.

Los datos se han analizado a partir de una base de datos y graficas Excel 3.0 en un ordenador Appel Se.

METODO DE TRABAJO

El sistema de trabajo se ha basado en establecer un estudio comparativo entre tres probetas de hormigón de tierra estabilizada. La falta de medios para conseguir una cámara anacoica y unas muestras de un tamaño superior han definido este ensayo, casi de campo.

El método se ha basado en colocar la probeta sobre una base de poliestireno extruído de alta densidad, grosor 7 cms, el cual tenía un orificio cuadrado de 15x15cms, que a su vez se encontraba sobre un baffle, y este sobre una mesa de madera. Este último estaba conectado directamente a un equipo electroacústico, que emitía señales en diferentes frecuencias. De esta forma se conseguía un máximo de direccionalidad sobre la probeta de 30x15x10 cms, y pocas perdidas ambientales, reduciendo a la mínima expresión los ruidos de la calle y pasillos. Para recoger la señal se procedió a efectuar un orificio cónico \varnothing 3cms en el interior de la probeta de 4,5cms de profundidad. Dentro de este se coloco el micro del sonómetro, que para que quedase totalmente estanco se selló con la probeta con un material elástico y absorbente, en este caso plastilina, que además cubrió una superficie de 15x15 cms de la probeta.

Las señales en las diferentes frecuencias llegaron con mucha claridad, y únicamente con los graves y la onda de 60Hz. se producían ciertas distorsiones.

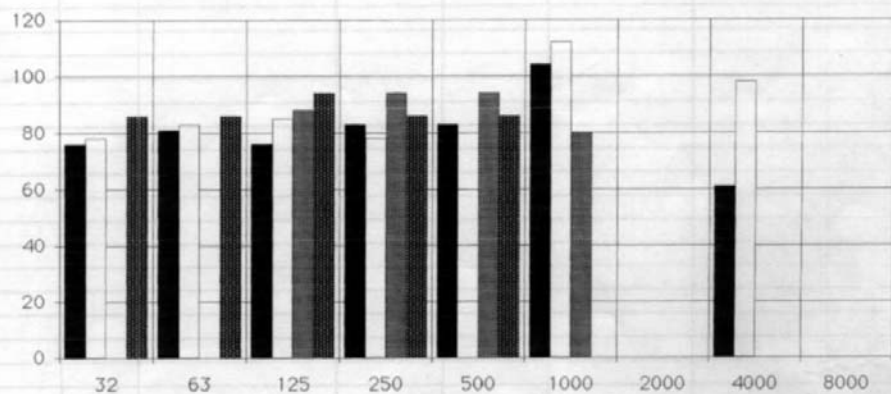
Primero se midieron las señales en Db, sin probeta en la cAja acústica que habíamos montado, y posteriormente se fueron midiendo probeta por probeta las diferentes intensidades, que exponemos a continuación.

PROBETA 2. HTS 20

Aquesta mostra correspon a un altre formigó de terra estabilitzada al 10% de c. portland i un contingut de un 20% de suro triturat, fet a partir de les terres extretes de C. Cerda. La mostra té una densitat semblant a l'anterior, però el contingut de suro alleugereix notablement, encara que la porositat sigui menor que avans.

freqüència	senyals 1-2-15-500KHz	ona 60 KHz.	senyals 1-2-15-500KHz	ona 60 KHz.	Db.
√ Hertz	Db Probeta 2	Db Prob.2	Sense probeta	Sense probeta	atenuació
32	76	0	78	86	88
63	81	0	83	86	88
125	76	88	85	94	15
250	83	94	78	86	-13
500	83	94	0	86	0
1000	104	80	112	0	-72
2000	0	0	0	0	0
4000	61	0	98	0	37
8000	0	0	0	0	0

Els resultats ja porten fetes les correccions d'escala del sonòmetre -frecüenciòmetre



DYLV

INGENIER

DEPART

INTDU

MOBIL

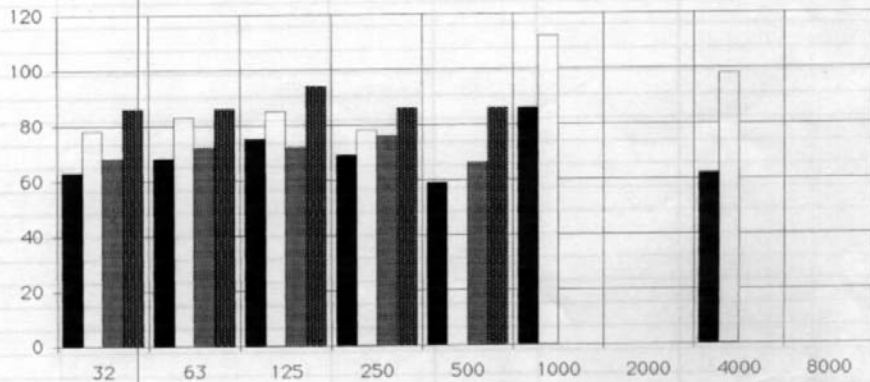
DEPART

PROBETA 3. CC.10

Aquesta tercera mostra correspon a un formigó de terra estabilitzada al 10% c.portland, comprimit en màquina a 50Kgr/cm2, donant densitats màximes segons assaig Proctor de 1,970 amb un 11% d'humitat. Evidentment en aquesta mostra destaca l'alta densitat i la baixa porositat.

frecuencia	senyals 1-2-15-500KHz	ona 60 KHz.	senyals 1-2-15-500KHz	ona 60 KHz.	Db.	
√ Hertz	Db Probeta 1	Db Prob.1	Sense probeta	Sense probeta	atenuació	
32		63	68	78	86	33
63		68	72	83	86	29
125		75	72	85	94	32
250		69	76	78	86	19
500		59	66	76	86	37
1000		86	0	112	0	26
2000		0	0	0	0	0
4000		62	0	98	0	36
8000		0	0	0	0	0

Els resultats ja porten fetes les correccions d'escala del sonòmetre -frecüenciòmetre



DVLY

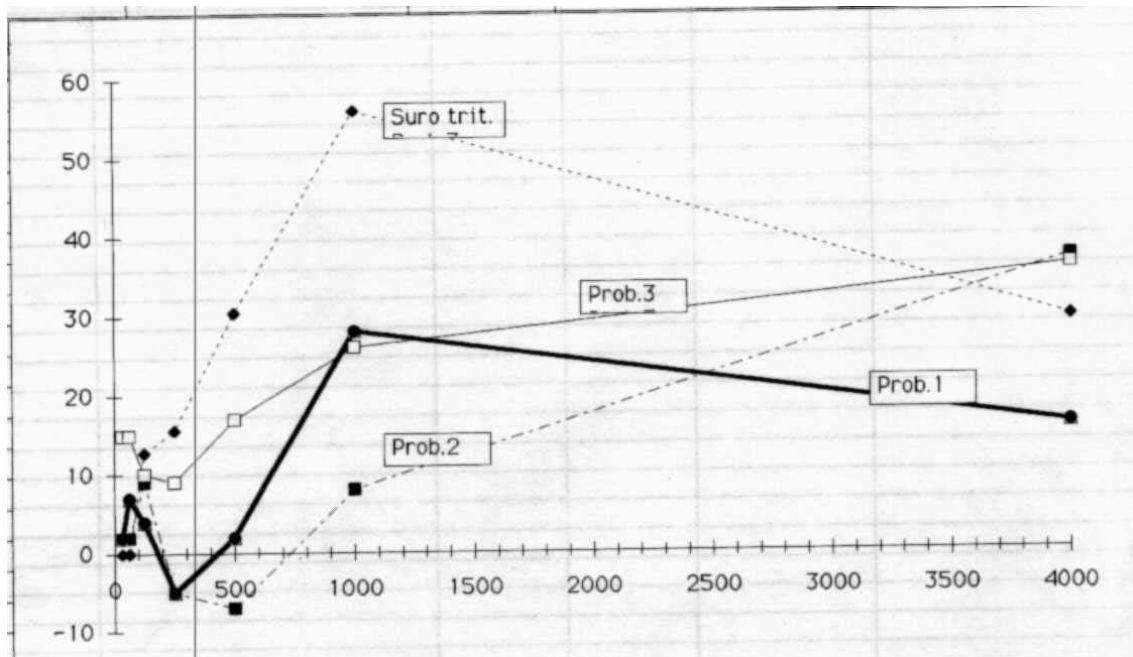
INDICADOR

DESCRIPTE

ZINCO

MOYOR

ORREBANCION



Por determinar el índice de aislamiento acústico de los bloques se realizará un ensayo tomando como base la norma UNE-EN ISO 140-3. “Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos constructivos. Parte 3: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de la construcción.”, aducido a los recursos de que se dispone, se habrá de ir adaptando la norma a nuestras capacidades, consiguiendo unos resultados que, si bien no son vinculante, si son fuerza aproximados.

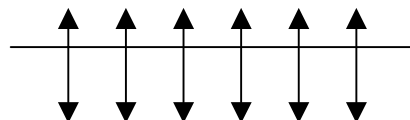
Las ondas sonoras son aquellas ondas que producen sensaciones apegadas de los órganos del oído. Dentro de las ondas sonoras, las que afectan en el mundo de la construcción, son aquellas que van de 100 Hz a 5000 Hz, puesto que este es el rango principal de los sonidos producidos por las fuentes de ruido.

Las ondas se pueden clasificar según el movimiento de las partículas centrales respecto a la dirección de propagación. Las ondas sonoras tienen el que se denomina un movimiento longitudinal, esto quiere decir que el movimiento de las partículas de en medio de una onda es paralelo a la dirección de propagación.



Fig. 1. Ondas longitudinales

Otro tipo de movimiento es el transversal, esto quiere decir que el movimiento de las partículas de en medio se perpendicular a la dirección de propagación.



*Fig/. 2. Ondas transversales

También se pueden clasificar según su forma geométrica en olas planas, (aquellas en que la perturbación se transmite en una sola *direcció/ formando frentes *d/ola planas), y en olas esféricas, (aquellas en que la perturbación se transmite igual en todas las *direcciones/, formando sus frentes *d/ola esferas concéntricas con el centro a la fuente de emisión. este tipo *d/ola cada vez ocupan más volumen y por esto disminuye su intensidad al propagarse).

Se puede considerar que hay dos tipos de ruido, según su *medi/ de transmisión:

ruido aéreo: es aquel que *s/ emite y se propaga por *l/aire, como consecuencia *d/una vibración producida en este medio, por ejemplo un grito.

ruido de impacto: es un ruido provocado por la vibración *d/un elemento estructural como consecuencia de la *percussió/ *d/un objeto sobre este, por ejemplo un golpe a una pared.

En el caso de *l/ensayo que se realiza, lo que se va a encontrar, es *l/*índice/ *d/*aislamiento/ acústico al ruido aéreo que tienen los *BRC/, y por encontrarlo lo que se hace es medir la cantidad de *só/ que atraviesa los bloques en las diferentes frecuencias de que se dispone.

Como que las muestras de las que disponemos son las mismas que disponíamos por *l/ensayo térmico, aprovecharemos la caja calibrada con los diferentes ajustes por tal de poder hacer las lecturas de *l/*índice/ *d/*aislamiento/ acústico.

La resistencia del cuarto caliente *s/ha sustituido por un altavoz de 15(25)*W/ de potencia conectado a un equipo informático con soporte *d/*audio/ que será *l/encargado *d/emitar un ruido rosa a un volumen constante¹.

AL cuarto de recepción, se colocará la punta del *sonómetro/. Este aparato está *provisto/ *d/un micrófono que nos permitirá registrar manualmente los valores en decibelios. La diferencia entre el nivel sonoro de las dos cuartos (emisión y recepción) es el que *s/ nomina aislamiento sucio, y no es el valor real *d/*aislamiento/ acústico del material, por conseguir este valor *s/ tienen que tratar y interpretar los datos.

Para realizar *l/ensayo se necesitará una fuente emisora que emitirá de forma constante un ruido rosa. Este ruido rosa no es ni un ápice más que un ruido, creado artificialmente, que presenta el mismo nivel sonoro en toda *l/ extensión de *l/ espectro de frecuencias

Cada material tiene más o menos aislamiento en determinadas frecuencias, por detectarlas disponemos *d/un *sonómetro/ que se puede regular por medir las bandas *d/*octava/ (31,5 – 65 – 125 – 250 – 500 – 1*k/ – 2*k/ – 4*k/ – 8*k/ – 16*k/ *Hz/) aun cuando en construcción sólo se suelen tener en cuenta las frecuencias medias que van de 100 *Hz/ a 5*kHz/ si se trabaja en tercios *d/*octava/ y de 125 *Hz/ a 4*kHz/ si se trabaja en bandas *d/*octava/. El *sonómetro/ utilizado sólo proporciona

las lecturas de bandas *d/'*octava/, y al no disponer de filtros no se podremos obtener los valores de todo *l/' ancho de frecuencia.

Por evitar posibles errores *s/' tiene que tener presente colocar bien ajustadas las muestras a la caja, puesto que cualquiera pequeña junta o apertura que quedas, generaría un error importante ^{jodo 2}.

El 'índice de aislamiento acústico de los bloques ensayados, *l/' obtendremos de la siguiente expresión:

$$*R/*_G/ = *E_p/ - *R_p/$$

Dónde:

*R/*_G/ = Aislamiento acústico global en *dBA/

*E_p/ = nivel emisión ponderado determinado con la caja vacía

*R_p/ = nivel recepción ponderado

Para obtener los niveles ponderados aplicaremos la formula de composición de niveles:

$$10 * \log / \Sigma 10^{L_e/10}$$

Dónde:

Le = valores según banda *d/'*octava/ ponderados según la siguiente la tabla 1.

Frecuència (octava)	Valor de Corrección A (en dB)
125	-16.1
250	-8.6
500	-3.2
1 k	0
2 k	1.2
4 k	1

Tabla 1. Valores de corrección según la ponderación A

3.7.3 Lecturas y Resultados

El análisis de *l/' aislamiento acústico realizado con la caja, un golpe calibrada en hueco, ha dado los siguientes valores para los bloques analizados así como sendas probetas de corcho negro y *totxo/ macizo ^{jodo 3};

Muestra ensayada: AU Rc 1
 Superficie de ensayo: 0,010 m²
 Masa por unidad de área: 215,60 Kg/m²

Según la expresión artículo 3,2 de la NBE-CA-88
 $R=36,5 \log(Ds/S)-41,5$ en dB A
 43,68 dB A

Condiciones ambientales:
 Temperatura: 27°C
 Humedad relativa: 80%

Volumen de las cámaras de ensayo

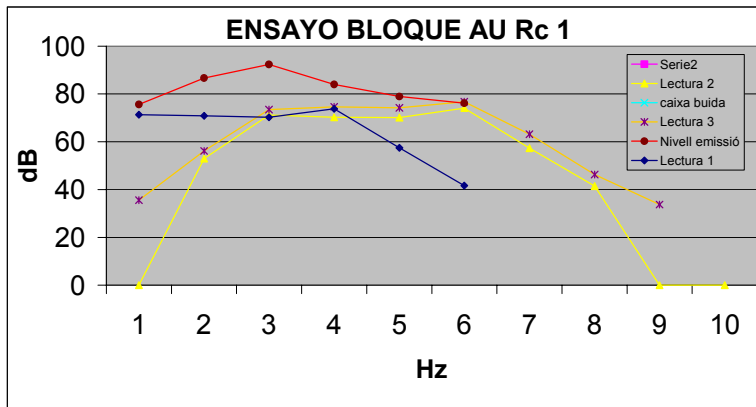
Emisora: 0,00074 m³
 Receptora: 0,00068 m³

Frecuencia (octava) Valor de Corrección A
 (en dB)

125	-16.1
250	-8.6
500	-3.2
1 k	0
2 k	1.2
4 k	1

Frecuencia(Hz)	Lectura (dB)	Lectura ponderada (A) en dB
31,5	0	-
63	53	-
125	71,3	55,2
250	70,9	62,3
500	70,2	67
1 k	73,8	73,8
2 k	57,5	58,7
4 k	41,7	42,7
8 k	0	-
16 k	0	-
Lin	77,9	-
Lectura 1		75,0
Rg en dB (A)		14,1

10 log ? 10 Li/10



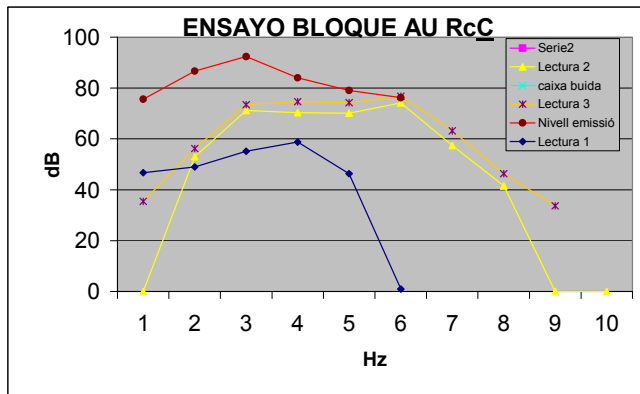
Muestra ensayada: AU Rc_C
 Superficie de ensayo: 0,015 m²
 Masa por unidad de area: 193,60 Kg/m²

Superficie cámara receptora: 0,04044
 Superficie probeta: 0,01664

Condiciones ambientales:
 Temperatura: 27°C
 Humedad relativa: 80%

Volumen de las cámaras de ensayo
 Emisora: 0,00105 m³
 Receptora: 0,00102 m³

Frecüencia(Hz)	Lectura (Db)	Lectura (Db) ponderada
31,5	0	-
63	45,5	-
125	62,8	46,7
250	57,6	49
500	58,3	55,1
1 k	58,8	58,8
2 k	45,1	46,3
4 k	0	1
8 k	0	-
16 k	0	-
Lin	66	-
Lectura 1		61,0
Rg en dB (A)=		30,2



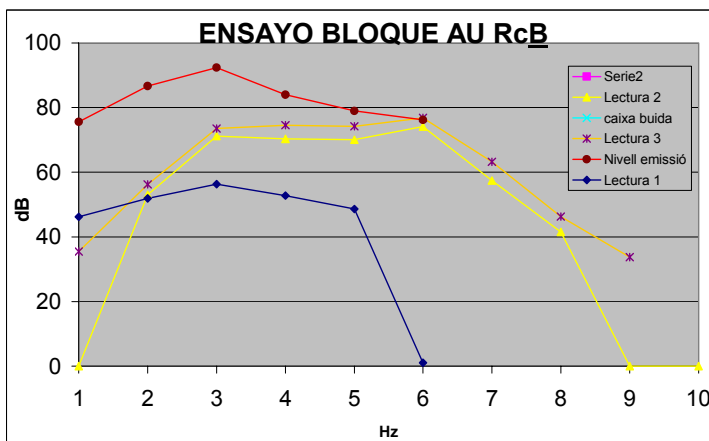
Muestra ensayada: AU Rc_B
 Superficie de ensayo: 0,016 m²
 Masa por unidad de area: 123,52 Kg/m²

Condiciones ambientales:
 Temperatura: 27°C
 Humedad relativa: 80%

Volumen de las cámaras de ensayo
 Emisora: 0,00153 m³
 Receptora: 0,00121 m³

Frecüencia(Hz)	Lectura (Db)	Lectura (Db) ponderada
31,5	0	-
63	46,4	-
125	62,3	46,2
250	60,5	51,9
500	59,5	56,3
1 k	52,8	52,8
2 k	47,4	48,6
4 k	0	1
8 k	0	-
16 k	0	-
Lin	66,9	-
Lectura 1		59,5
Rg en dB (A)=		31,7

NBE-CA-81
 >49 Dba AISLAMIENTO TERMOARCILLA



Según la expresión artículo 3.2 de la NBE-CA-88
 $R=36,5 \log(Ds/S)-41,5$ en dB A
 30,26

Muestra ensayada: CORCHO NEGRO
 Superficie de ensayo: 0,014 m²
 Masa por unidad de área: 8,80 Kg/m²

Condiciones ambientales:
 Temperatura: 26°C
 Humedad relativa: 80%

Volumen de las cámaras de ensayo
 Emisora: 0,00129 m³
 Receptora: 0,00121 m³

Frecuencia(Hz)	Lectura (dB)	Lectura ponderada (A) en dB
31,5	0	-
63	54,5	-
125	75,6	59,5
250	72,6	64
500	75,6	72,4
1 k	75,3	75,3
2 k	59,8	61
4 k	54,3	55,3
8 k	46,4	-
16 k	0	-
Lin	81,3	-
Lectura 1		77,5
Rg en dB (A)=		13,7

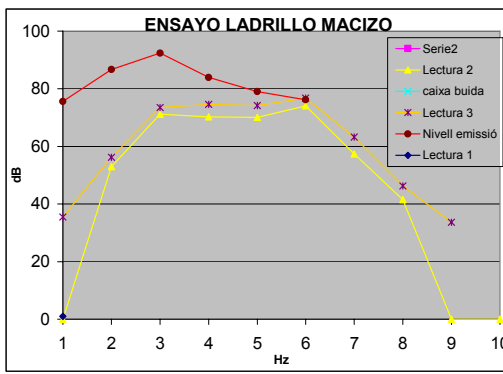
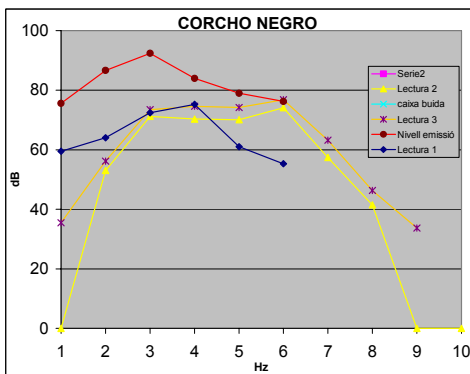
Muestra ensayada: LADRILLO MACIZO
 Superficie de ensayo: 0,014 m²
 Masa por unidad de área: 92,50 Kg/m²

Condiciones ambientales:
 Temperatura: 26°C
 Humedad relativa: 80%

Volumen de las cámaras de ensayo
 Emisora: 0,00138 m³
 Receptora: 0,00124 m³

Frecuencia(Hz)	Lectura (Db)	Lectura (Db) ponderada (A)	10 ^{L₁₀}
31,5	0	0	1
63	53,2	44,6	28840
125	73,7	57,6	575440
250	65,1	56,5	446684
500	65,4	62,2	1659587
1 k	66,8	58,2	660693
2 k	51,8	50,6	114815
4 k	45,3	44,3	26915
8 k	0	-2	1
16 k	0	-	-
Lin	75,8	65,46	3512977
Lectura 1		-	-
Rg en dB (A)=		23,66	-

Tendría que ser de 46dB

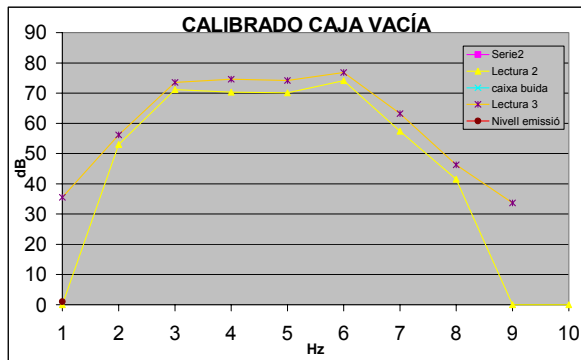


Muestra ensayada:
 Superficie de ensayo: CALIBRADO CÁMARA
 Masa por unidad de área:

Condiciones ambientales:
 Temperatura: 26°C Superficie cámara receptora
 Humedad relativa: 80% Superficie probeta
 0,01664 S

Volumen de las cámaras de ensayo: $L_p = 10 \cdot \text{LOG}(S/A)$ 0,389
 Volumen: 0,0036 m³ Área Absorción acústica ponderada de la caja
 Distancia del micro al alavoz: 0,16 m $A = \alpha \cdot m \cdot S$ 0,018198

Frecuencia(Hz)	Lectura (Db)	Lectura (Db) ponderada (A)	$10^{L_p/10}$	α Absorción acústica
31.5	0	0	1	
63	54.5	45.9	38905	
125	72.7	56.8	457088	0.15
250	75.6	67	5011872	0.32
500	86.7	83.5	223872114	0.4
1 k	92.4	83.8	239883292	0.58
2 k	84	82.8	190546072	0.7
4 k	79	78	63085734	0.55
8 k	76.2	74.2	26302680	media
16 k	59.4			0.45 am
Lim	94.4	88.75	749207758	
	Lectura		$10 \log ? 10^{L_p/10}$	



4.1.1 OBSERVACIONES

Durant aquests assaig s'observà la relació que la relació entre l'Índex d'aïllament acústic i la massa del bloc és inversament proporcional, un major massa per superfície (per variació del gruix de la mostra o de la densitat) equival a un menor aïllament acústic, així el bloc B que té un gruix menor que el C té un índex lleugerament superior. Segons aquests resultats a 1,5 vegades la seva massa, un bloc B aïlla 3 dBA més que un totxo, i el bloc C amb el doble de massa que un totxo aïlla 2 dBA més.

Però les lectures obtingudes amb el **bloc 1**, no es poden considerar vinculants atès el seu reduït tamany i per tant no podria de servir de comparació amb els altres blocs ni amb la proveta de totxo, degut a que la transmissió indirecta podria ser major al no estar ajustades al màxim les tapes de la caixa i haver variat considerablement el volum de les cambres emissores i receptors.

Atès que els materials i elements constructius varien en torn a unes característiques tals que en promig i per divisòries d'una sola fulla, s'agrupen mostrant la tendència estadística d'establir una llei de massa en dBA, i a la fi i efecte de avaluar l'influència de la densitat en l'aïllament, aplicarem la Llei de massa, segons les següents formules:

$$-M \leq 150 \text{ Kg/m}^2; R_G = 36.5 \log M - 41.5 \text{ dBA}$$

$$-M \geq 150 \text{ Kg/m}^2; R_G = 36.5 \log M - 41.5 \text{ dBA}$$

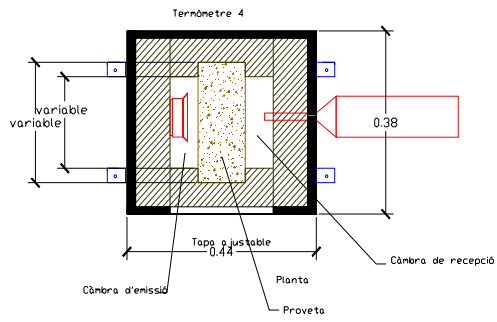
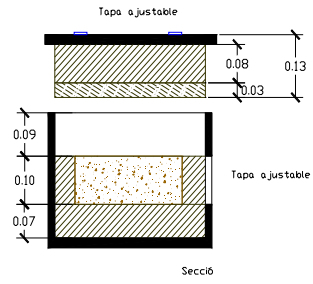
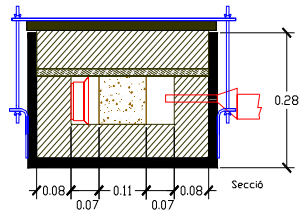
Obtenim els següents valors:

MOSTRA	MASSA en Kg/m ²	R _G segons assaig en dBA	R _G segons llei de Massa en dBA
TOTXO	92,50	28,6	34,6
BLOC 1	215,60	16,1	43,63
BLOC <u>B</u>	123,52	31,7	36,84
BLOC <u>C</u>	193,60	30,7	41,97

Els R_G obtinguts per aquests assaig són inferiors als teòrics obtinguts per la Llei de massa, segurament degut als problemes de transmissió indirecta que es generen a l'interior de la caixa, i a que aquesta llei està calculada en base a la densitat aparent promig, sense tenir en compte l'heterogeneïtat interna dels elements.

4.1.2 CROQUIS DE L'EQUIP DE MESURA

|



Materials:

- Tauler laminat DM 20 mm
- Suro negre 80 mm.
- Llana de vidre 30 mm.
- Varilla rosçada de 6 mm.
- Passanà de ferro de 5 mm

ESQUEMA CAIXA ANÀLISIS D'AIÏLLAMENT ACÚSTIC

E: 1 / 10

bloque C 24h

AU 40% r 40% 14p

Tiempos	Tc	T1	T2	Tf	
0	39,0	36,8	33,2	32,0	
5	38,5	36,6	33,1	32,0	
10	43,4	38,6	33,2	32,0	
15	43,3	38,1	33,2	32,0	
20	42,3	37,8	33,2	32,0	
25	41,3	37,6	33,2	32,0	
30	40,6	37,3	33,2	32,0	
35	39,9	37,1	33,2	32,0	
40	39,3	36,9	33,2	32,0	
45	38,7	36,7	33,2	32,0	
50	38,3	36,5	33,2	32,0	
55	43,6	38,4	33,2	32,0	
60	43,2	38,0	33,2	32,0	
65					incremento de T
T media =					Tc-Tf = 8,8 °C
					T1-T2 = 4,2 °C

Superficie S = 0,165x0,09m

S =	0,01485 m2
e =	0,11 m

Conocemos els Rs

Rs =	0,22 m2°C/W
------	-------------

0,85 (tapial)
0,6(adobe)

$\lambda = K * e / (1 - K * Cs)$
 $Q = S * K * X * (Tc - Tf)$
 $Q = \lambda * S * X * (T1 - T2) / e$

Sistema de tres ecuaciones y tres incognitas

$K = 2,3733 \text{ m}^2\text{°C/W}$
 $\lambda = 0,546 \text{ W/m}^2\text{°C}$ a 35

$(tc - tf) / (Rs + (e / \lambda)) = \lambda (T1 - T2) / e$

$\lambda = 0,415 \text{ W/m}^2\text{°C}$ a 0 °C	$\lambda = (e (tc - tf) / Rc (T1 - T2)) - (e / Rc)$
$\lambda = 0,546 \text{ W/m}^2\text{°C}$ a 35 °C	$K = 1,06 \text{ W/m}^2\text{°C}$
	$K = 1,30 \text{ W/m}^2\text{°C}$

BLOQUE 1

Tiempo	Tc	T1	T2	Tf	
0	39,1	36,6	31,4	29,7	
5	38,6	36,4	31,4	29,7	
10	42,2	39,4	31,4	29,7	
15	44,1	38,1	31,4	29,7	
20	42,5	37,7	31,4	29,7	
25	41,6	37,4	31,4	29,7	
30	40,6	37,1	31,4	29,7	
35	39,9	36,9	31,4	29,7	
40	39,3	36,6	31,4	29,7	
45	38,6	36,4	31,4	29,7	
50	38,0	36,2	31,4	29,7	
55	44,3	38,1	31,4	29,7	
60	43,1	37,8	31,4	29,7	
65					incremento de T
T media =					Tc-Tf = 11,1 °C
					T1-T2 = 5,9 °C

Superfici S = 0,115x0,085m

S =	0,01063 m2
-----	------------

Observaciones

Al realizar este ensayo se observa que los resultados en las muestras de corcho y ladrillo silicocalcario perforado, de los que conocíamos el coeficiente de conductividad térmica, no se corresponde a la conductividad que indican las tablas. Esto que podría parecer un error de calibrage de la caja, es debido a que todos los materiales tienen una variación de la conductividad con la temperatura, y los coeficientes de conductividad que proporcionan las tablas són a una temperatura de 0 °C.

Como que los materiales tienen esta variación de conductividad en función de la temperatura, se procura que los materiales ensayados tengan un grueso parecido.

Los resultados se dan unos coeficientes de conductividad de 0,435 W/m°C el bloque 1, y de 0,546 W/m°C el bloque C.

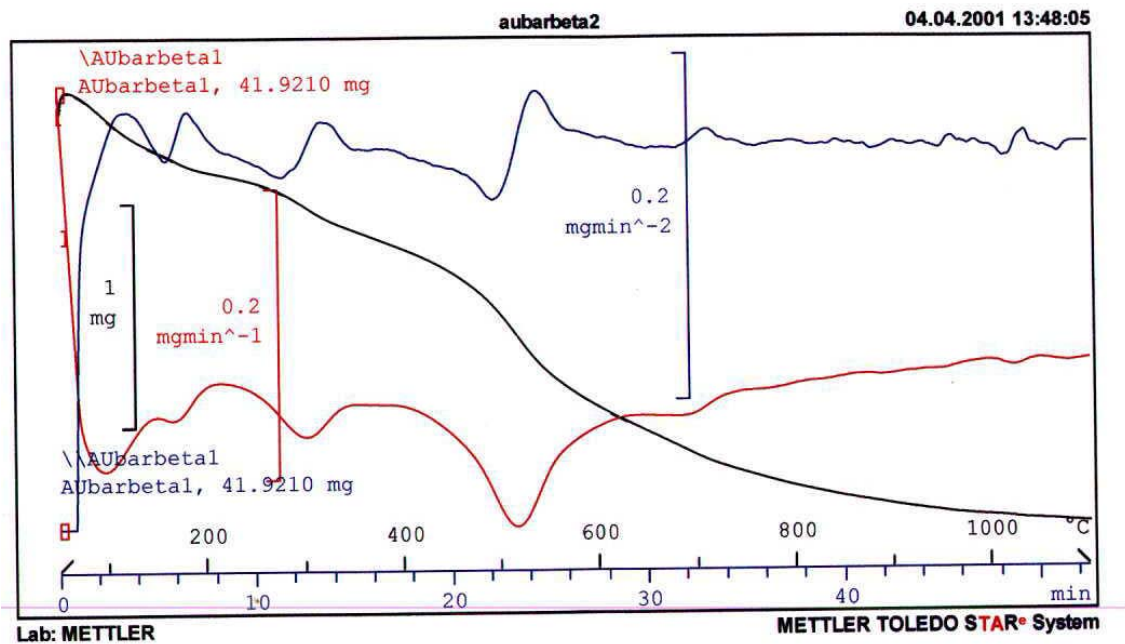
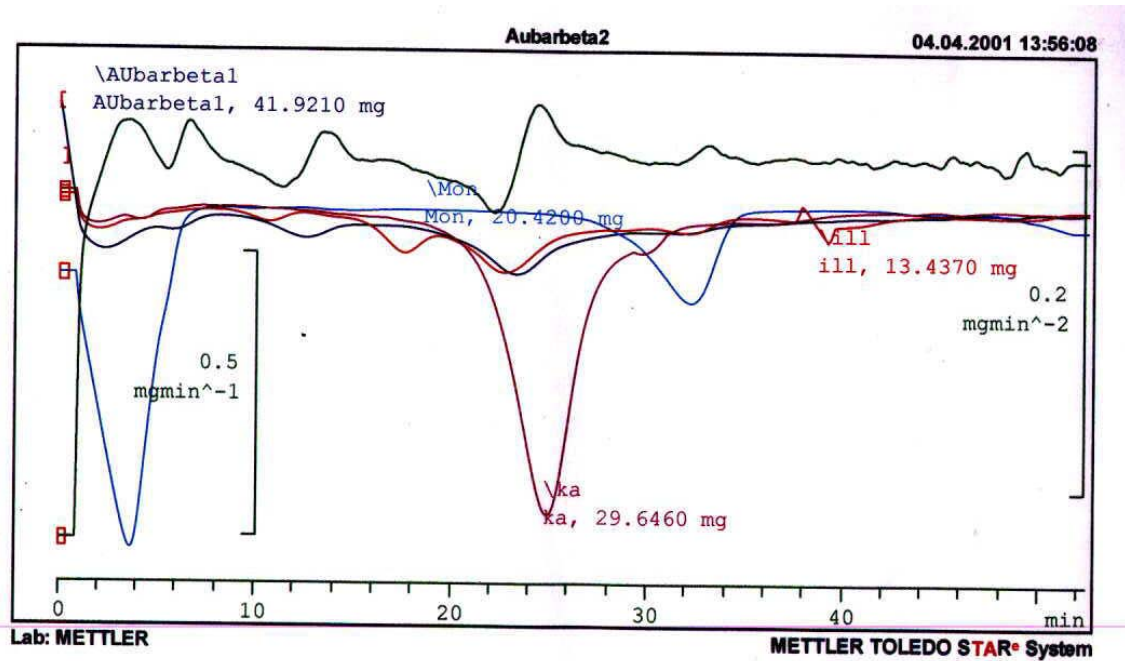
De los resultados obtenidos se puede concluir que los bloques tierra AU con derribo comprimido són unos materiales con unas buenas características aislados que superen en muy la de el obra cerámica ya que la fábrica de ladrillo macizo tiene una conductividad de 0,87 W/m°C, la de ladrillo calado 0,76 W/m°C y situen los bloques de derribo comprimido a la altura del ladrillo agujereado y de los ladrillos silicocalcareos perforados con un coeficiente de conductividad térmico de 0,49 W/m°C, y 0,56 W/m°C respectivamente.

Los materiales con los que podemos comparar los bloques tierra AU de derribo comprimido són el ladrillo cerámico macizo (0,87 W/m°C) y los ladrillos silicocalcario macizo (0.79 W/m°C), estos materiales presentan un coeficiente de conductividad muy superior los bloques de derribo comprimido confirmando que la tierra es un buen material aislante, ya que tiene un coeficiente de conductividad un 44% inferior al ladrillo macizo y un 38% inferior al ladrillo silicocalcario macizo.

Determinación del contenido de Arcillas Base del Grupo I. Caolinitas, Montmorillonitas, Illitas, Cloritas, Vermiculitas.

El análisis termogravimétrico (ATG) registra los cambios de masa de un material concreto, en fase sólida, amorfa o cristalina, en función de la temperatura y contrastado con un material inerte: $m(T,t)$

Las gráficas obtenida de ATD/ATG muestran los picos característicos de las illitas (36% respecto los finos), mínimamente de Caolinita (8%)y Montmorillonita.(4%)



Determinación de la composición. Ensayos químicos.

Fracciones solubles

Para la evaluación del contenido de sílice soluble activa de las tierras estabilizadas con cemento portland al 14%, cabe considerar que en éste representa un 2.59% del peso total.

Para su evaluación debe considerarse también, que las fases SCH del cemento son solubles en ácido clorhídrico y en ácidos débiles como el acético.

-SiO₂ Sílice soluble. Variabilidad con la estabilización.

-R₂O₃ Elementos trivalentes solubles. Variabilidad con la estabilización.

-Ca⁺⁺ Na⁺ K⁺ Mg⁺⁺ Cationes presentes. Variabilidad con la estabilización.

-Capacidad de intercambio catiónico²⁸ en m.e.q²⁹.

Evaluación de los carbonatos

Para la evaluación de los carbonatos se ha empleado el método del [calcímetro de Bernard](#), obteniendo el % a partir de la siguiente fórmula : $\frac{\% \text{ CO}_3\text{Ca}}{\text{calcímetro/ peso muestra}} = 0,39 \times \text{Volumen}$

Minoritarios. Absorción atómica: sulfatos SO₃, nitratos, Materia orgánica, cloruros Cl⁻, Fe₂O₃, TiO₂, Cationes de cambio (Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺)

²⁸ Grim en 1962 relaciona el M.e.q con el límite líquido, y encuentra su relación directamente proporcional.

²⁹ Miliequivalentes. Peso/peso atómico x1000 1meq=6x10²⁰ cargas electrónicas respecto a la valencia.

Para valorar el contenido de cloruros se ha utilizado 10cm³ de dilución con 20 gotas de cromato de potasa, en un erlenmeyer pequeño. Se valora la cantidad de nitrato de plata para que la dilución alcance un color amarillo.

segons Assaigs. Lab. Oficials. Norma. Americana AOAC.

solub. 1/2,5	solub 1/5						
PH	Conductividad	Sales solub.	NO₃-	Cl-	Ca⁺⁺	Ca⁺⁺	CaCo₃
No. ASTM D,4972-89 Cl ₂ Ca		mgr/ml				15% bueno	%
					cgr/Kgr	mgr/Kgr	
9,75	126	62,09	4,50	71	29,30	2.930	3,12

n° Muestra	localización	SiO2 Cristalizado	Al	SiO2.Soluble
	Nota.Datos geológicos	e insolubilizado		
	M.P probeta experimental.	Comparación teórico		
		y el real		
n°	L	Si.Soluble		SiO2.Soluble
		ph13.sosa 30° 24h.Método gral.mat.construcción		ph13.sosa 30° 24h.Método gral.mat.construcción
		%x10,000=mg/Kgr		%x10,000=mg/Kgr
AU				
AU7p		20.240	13337,108 6	43300
AU14p		22.858	17412,336 3	48900
AU7p		1.309	5662,9786 6	2800

Interpretacion resultados análisis químicos de las muestras au.

Las muestras SF14p y SF7p analizadas através del Método para determinación de Sílice y Trivalentes para tierras de Gomà-Barbeta dan como resultados 3700mg/Kgr y 2800mg/Kgr de SiO₂, y 10.000mgr/Kgr y 10.700 mgr/Kgr de elementos trivalentes Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃ respectivamente.

El aumento de sílice soluble en sosa al aumentar el cemento es indicativo que la formación de fases SCH aún estan en proceso de formación debido a su proceso lento de cristalización (1-2años), a pesar de acelerar la reactividad con curado a 60°C. A parte el medio altamente alcalino provocado por el exceso de cationes Ca⁺⁺, tal como han indicado los análisis de absorción atómica Ca⁺⁺>1200mgr/Kgr, que provocan la presencia de más SiO₂, proveniente de las últimas capas de las arcillas caoliníticas. En cuanto a los procesos de reducción de trivalentes se explica a partir de la rápida formación de fases ACH, aluminatos, ferroaluminatos y sulfoaluminatos de cal, que nos dan las primeras resistencias de la tierra estabilizada. Esta reducción se da a pesar del incremento de cemento, que por si solo da un aumento de 4200gr/Kgr de alumina en la mezcla, la cual como vemos no aparece desaparece.

MUESTRA *COV*

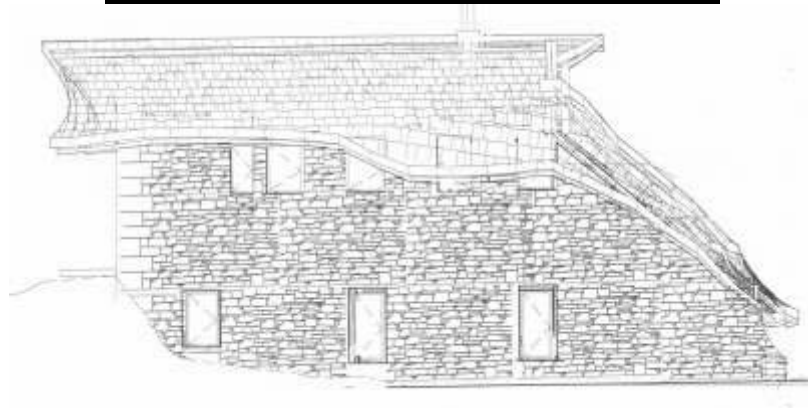
Se trata de una tierra arcillosa magra, proveniente del núcleo rural de Covachuelas, cerca de la histórica Sepúlveda en la provincia de Segovia. Las tierras se están utilizando para la ejecución de bloques BTC, que servirán para un proyecto de vivienda y un centro de Turismo rural, diseñados por el propio autor de esta Tesis.

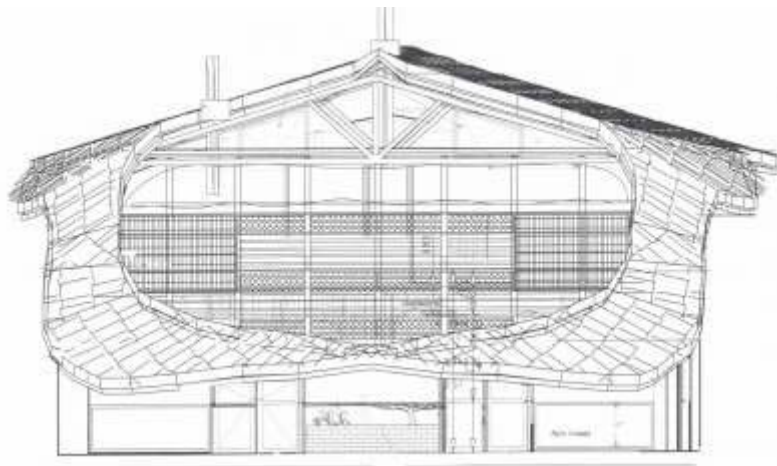
Análisis Arquitectónico

Arquitectura popular local

Por la mala calidad de los materiales térreos autóctonos, y la presencia de piedra, es difícil ver viviendas tradicionales totalmente de tierra. No obstante en la cuenca cuaternaria de Ayllón (grafada en el mapa geológico [ningún. 0](#) con color gris) se utilizaba de forma generalizada el adobe.

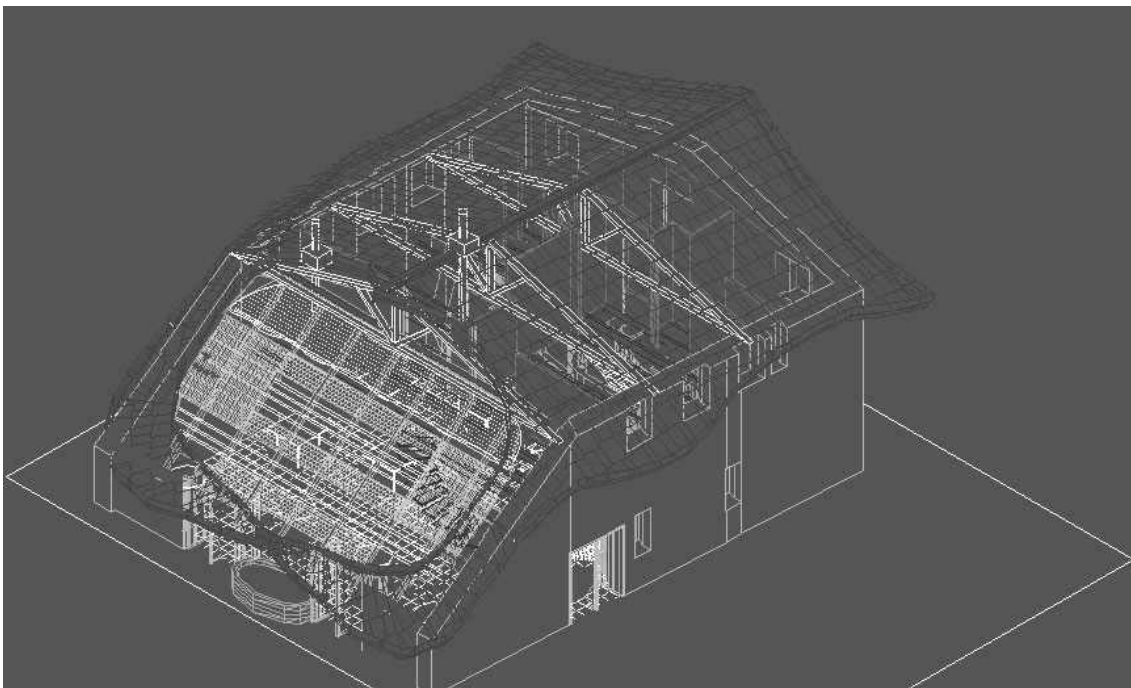
Además la tierra es utilizada en el proyecto como material de construcción a manera de relleno y aglomerante bajo teja y como argamasa para la unión de la mampostería de piedra.





Descripción del proyecto

El proyecto donde se aplica de nuevo la Tierra como material de construcción es la rehabilitación de una Tenada agrícola como Centro de Turismo Rural, en el núcleo de Covachuelas (Segovia), con criterios de ecobioconstrucción sostenible, entre los que destacan la aplicación e integración de energías renovables, la recuperación de aguas pluviales y residuales, la recuperación de materiales y tecnologías autóctonas, y el diseño de una cubierta orgánica que posibilita la fusión y resolución de todos estos parámetros.



Posibles estabilizantes disponibles autóctonos Grado de disponibilidad y coste.

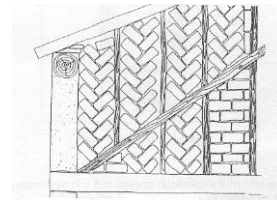
Tradicionalmente en esta zona de Sepulveda y Ayllón se utilizaba el adobe estabilizado con paja.



“Tierra del barrero, cribada, sin impurezas; paja de trillar, ni muy gruesa ni muy fina; yagua... Estos son los elementos base de la fabricación de los adobes”.³⁰

Otro estabilizante físico vegetal disponible sería el entramado de enebro, madera resinosa, muy densa y duradera procedente de un tipo de árbol parecido al ciprés.

Chimenea y cerramientos ejecutados con entramado de enebro, tanto para ir enbarrado (derecha) o para ir cerrado con adobes en espiga o en fábrica de sogas.



Estructura entramada y revocada con el mismo barro.

En referencia a las estabilizaciones físico-químicas en la zona no se dispone de materiales con actividad puzolánica, cenizas volantes o de cáscara de arroz

polvo de ladrillo, e inclusive la oal no es una material habitual. En este análisis de disponibilidad, parece que el cemento portland es el que brinda menores problemas.

También, debido a la proximidad de Madrid se dispone sin demasiada dificultad de estabilizantes químicos como la sosa caustica y el silicato potásico.

Personal cualificado y medios auxiliares disponibles.

En la zona se ha perdido totalmente la tradición de construir en tierra, y no se dispone de personal cualificado. A la vez el promotor no disponía de demasiados recursos económicos, por lo que de entrada se contaba en parte desarrollar el proyecto mediante autoconstrucción, apoyada puntualmente por el trabajo de profesionales de la construcción.

La obra además se encuentra bastante alejada de los nucleos más importantes, accesible sólo mediante una pista forestal estrecha, no apta para según que vehículos. Ello dificultaba enormemente traer materiales y medios auxiliares como gruas o camiones de gran tonelaje.

Parámetros socio-culturales para la apropiación de la tecnología

Según el punto anterior, es indispensable adoptar una tecnología muy sencilla de ejecutar, rápidamente asumible por el promotor y mano de obra habituada a la arquitectura convencional de hormigón y ladrillo. Así, parece lo más adecuado el uso de una tecnología de construcción con tierra con similitudes a la obra de fábrica, con pequeños elementos, y sin uso de grandes medios auxiliares, como encofrados o gruas. El Adobe y el BTC son, en este caso, los más adecuados, acercándose a la vez a la tradición constructiva de la zona.

A pesar de ello el adobe se descartó por no disponer de las misma resistencia y durabilidad que el BTC, lo cual en muchas ocasiones es un handicap para que sea aceptado de nuevo.



Factores de curado, defloculación y endurecimiento derivados del clima local

El núcleo de Covachuelas, se encuentra en una zona climática continental fría, con variaciones térmicas muy bruscas. Los inviernos son bastante duros con presencia de hielo y nieve, de lo cual se deriva la necesidad de trabajar en épocas estivales, si se quiere curar la tierra con garantías de durabilidad. Tradicionalmente es lo que se hacía, dejando únicamente para el invierno los trabajos de preparación de la tierra, ya que los procesos naturales de gelificación y humectación generaban una defloculación y esponjamiento de la tierra arcillosa muy efectivos.

Otro factor climático a considerar es el viento de poniente, constante y en ocasiones de cierta fuerza. Ello comporta una pérdida muy rápida de la humedad de fabricación de los elementos constructivos, con la consecuente disminución, en los fraguados, de formación de nuevas estructuras físico-químicas resistentes y durables. A su vez se generan mayores tensiones superficiales de secado, causa directa de la aparición de fisuras por retracción. Ésto puede minimizarse con la utilización de toldos sobre la obra hecha, para protegerse tanto del viento como de los saltos térmicos día-noche y heladas, y también poder así aumentar la temperatura de curado.

FACTORES CLIMÁTICOS A CONSIDERAR		
Riesgo de heladas	Si/fuerte	De Octubre a Mayo. -12°C
Viento	Si/fuerte	Poniente, y con lluvia.
Oscilación térmica/Riesgo a fisuración	Si/fuerte	20°C
Condiciones de curado	malas	Protección con toldos/ ejecución de trabajos en verano/ humectación constante.

Análisis ciclo de vida del material

1ª Fase. Inventario

Para determinar el ciclo de la vida del bloque de tierra comprimida BTC se realiza inicialmente un “inventario” de los inputs y outputs del material desde el momento de fabricación, durante toda su vida útil, hasta su proceso de destrucción. Éste está en fase de homogeneización y normalización muy avanzada a nivel mundial por ISO y en el ámbito español por AENOR. En algunos países como Suiza, en que desde finales de los 80 ya disponen de datos básicos de inventario global del país, como son los estudios BUWAL 132 y el 250, como revisión, desarrollados por EMPA, están facilitando la realización de ACV en el campo de los envases y en la selección de los procesos de tratamiento de los residuos.

Éstos se miden como Kilogramos de materias primas para la producción del material, y de los subproductos o residuos, el gasto energético para la construcción medido en Megajoules por Kilogramo, MJ/Kgr=239 Kcal/Kgr=3.6 Kw/h Kgr, las emisiones de CO₂/ SO₂/NO₃/CFC-HCF, los contaminantes implícitos en el propio producto o en la fase de residuo.

Para la cuantificación de dichos parámetros se ha utilizado un pequeño programa de ayuda, el MATECOB, desarrollado en la Universidad de Girona, y dirigido por el mismo autor de la Tesis. Esencialmente evalúa el gasto energético, y las emisiones a la atmósfera derivadas del transporte y funcionamiento de la maquinaria implícita en los procesos de extracción, fabricación, y puesta en obra de un material de construcción. Los resultados obtenidos del Inventario energético de un BTC desarrollado en Covachuelas con prensa manual Geo 50, transportada desde otra obra alejada a 400kms, es el siguiente:

- En una primera instancia sí se evalúan los costes energéticos principales en un Bloque estabilizado con yeso y cemento Natural resulta:

----- Inputs -----				
	Cantidad	Energía	E. /Bloque	E./Kg
Tierra	4,2 Kg	0,1 Mj/Kg	0,42 Mj	0,02 Mj
Cemento Natural	0,65 Kg	3,8 Mj/Kg	2,47 Mj	0,42 Mj
Yeso	0,35 Kg	3,1 Mj/Kg	1,08 Mj	0,18 Mj
Agua	0,87 l	0 Mj/Kg	0 Mj	0 Mj
Gasto energético fabricación	0	0 Mj/Kg	0 Mj	0 Mj
		TOTAL	3,97 Mj/Bloque	0,82 Mj/Kg

----- Outputs -----		
	Quantitat	Energia
Sobras de material	0,6 Kg	0,49 Mj
Emisiones proceso principal	0	0
Vertidos al agua	0	0

Teniendo en cuenta los datos recojidos y el proceso de producción de los bloques se obtiene una energía de 3,56 Mj por cada bloque aproximadamente, lo cual representa una repercusión energética por Kg de material de 0,82 Mj.

Para el estudio para la construcción de bloques de tierra comprimida se ha considerado: que la captación de la materia prima estaba a menos de 500 m; que la extracción y apilado de la tierra se realizaba con medios mecánicos; la existencia de transporte interior a la obra de bloques y materias primas; el suministro de estabilizantes, cemento natural y yeso, se realizaba con camión mediano; y que la producción de los bloques era mediante prensa de accionamiento manual in-situ.

En el proceso de fabricación principal del bloque sólo hay gasto de transporte de las tierras dentro de la obra, hecho habitual ya que la tierra es un material al alcance en casi todos los proyectos. Además hay que considerar que sí la tierra proviene de los trabajos de excavación de la propia obra, el gasto energético consecuente queda repartido.

Otros parámetros indirectos que repercute notablemente en la evaluación energética, y que quedan omitidos, son el propio transporte de los medios auxiliares empleados en la obra y los morteros y medios de puesta en obra. Tal hecho se considera en el programa MATECOB.

Así, si evaluamos la Energía unitaria del BTC, estabilizado con un 10% de cemento portland, ejecutado en Covachuelas incluyendo la misma ejecución y transporte de los estabilizantes, y de la prensa desde 400 Km de distancia, los resultados aumentan notablemente.

ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

ANÁLISIS DEL COST ENERGÉTIC [ACE]- Pere Serra & Gabriel Barbeta (R)

INTRO **EXTRACCIÓ** FABRICACIÓ POSTA EN OBRA COST ENERGÉTIC

Nom material: BTC cov

ELEMENT 1

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 160	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 40000	<input type="checkbox"/> 0.101
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0

TRANSPORT

P (Cv)	D (Km)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 140	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 40000	<input type="checkbox"/> 0.0004
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0

0.1014 **CÀLCUL E1**

ELEMENT 2

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>

TRANSPORT

P (Cv)	D (Km)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>

CÀLCUL E2

ELEMENT 3

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>

TRANSPORT

P (Cv)	D (Km)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>

CÀLCUL E3

0.1014 **CÀLCUL EXTRACCIÓ**

MJ / Kg



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Generalitat de Catalunya
El Medi Ambient



ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

ANÁLISIS DEL COST ENERGÉTIC [ACE]- Pere Serra & Gabriel Barbeta (R)

INTRO EXTRACCIÓ **FABRICACIÓ** POSTA EN OBRA COST ENERGÉTIC

FABRICACIÓ

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0

TRANSPORT

P (Cv)	D (Km)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 90	<input type="checkbox"/> 800	<input type="checkbox"/> 40000	<input type="checkbox"/> 0.1894
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 0

0.1894 **CÀLCUL FABRICACIÓ**

1.1694 **CÀLCUL FABRICACIÓ**

MJ / Kg

TRACTAMENTS

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>

TRANSPORT

P (Cv)	D (Km)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>

0.98 **CÀLCUL T.F.**

DIAGRAMA PROCESO PRODUCTIU



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Generalitat de Catalunya
El Medi Ambient



ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

ANÀLISIS DEL COST ENERGÈTIC [ACE]- Pere Serra & Gabriel Barbeta (R)

INTRO EXTRACCIÓ FABRICACIÓ **POSTA EN OBRA** COST ENERGÈTIC

POSTA EN OBRA

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 1	16	20000	0.0067
<input type="checkbox"/> 0	0	1	0
<input type="checkbox"/> 0	0	1	0
<input type="checkbox"/> 0	0	1	0

TRANSPORT

P (Cv)	D (Km)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	0	1	0
<input type="checkbox"/> 0	0	1	0

0.0067 **CÀLCUL P.O**

0.9867 **CÀLCUL POSTA EN OBRA**


MJ / Kg

TRACTAMENT D'ACABAT

MAQUINES

P (Cv)	T (H)	P (Kg)	E(MJ/Kg)
<input type="checkbox"/> 0	0	1	
<input type="checkbox"/> 0	0	1	

0.98 **CÀLCUL T.A.O**




Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Generalitat de Catalunya
El Medi Ambient



ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

ANÀLISIS DEL COST ENERGÈTIC [ACE]- Pere Serra & Gabriel Barbeta (R)

INTRO EXTRACCIÓ FABRICACIÓ POSTA EN OBRA **COST ENERGÈTIC**

TOTAL DE COSTOS ENERGÈTICS ACUMULATS PER FASE


C.E. FASE EXTRACCIÓ 0.1014

C.E. FASE FABRICACIÓ 1.1694

C.E. FASE POSTA EN OBRA 0.9867

COST ENERGÈTIC TOTAL
2.2575 MJ/Kg **CÀLCUL TOTAL A.C.E.**

C:\ **TRASPÀS**

 **NETEJA FORMULARI**



Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Generalitat de Catalunya
El Medi Ambient



2ª Fase. Evaluación del impacto Ambiental

Algunos de los aspectos que dificultan la aplicación masiva de ACV, son la difícil interpretación objetiva del impacto ambiental a partir de los datos obtenidos en el inventario -listado de valores numéricos de parámetros ambientales con significados poco claros-. Por hacer frente a estos problemas desde 1993 la SETAC a través de su grupo de trabajo de impacto está sistematizando las diferentes fases de la evaluación de impacto (clasificación, caracterización, valorización y normalización.)

Durante el proceso de fabricación del bloque no se produce ningún tipo de contaminación ni acústica, ni gaseosa, ni térmica, sólo se producen los residuos de las mermas que son a la vez reciclables posteriormente como árido y tierra inerte. La carga medioambiental que tendrá el bloque de tierra comprimida será aquella proveniente de la obtención de cada uno de los materiales que intervienen.

La carga medioambiental de un material es todo el conjunto de consecuencias negativas que tiene sobre el medio la producción de éste, teniendo en cuenta la extracción de la materia delgada, el consumo energético en la manufacturación y elaboración, las emisiones, etc..., en definitiva todas aquellas consecuencias negativas sobre el medio ambiente que se producen como consecuencia de la construcción del material.

Se tienen que minimizar las mermas para no derrochar energía, materiales y recursos, y una vez se ha producido ésta se puede recoger el material sobrante y reutilizarlo para construir nuevos bloques como árido de reciclaje.

El impacto que provoca el bloque de tierra comprimida como árido, sobre la salud humana, proveniente del reciclaje durante su proceso de construcción, es nulo. Ecológicamente el único impacto ambiental que se produce es el propio de cada uno de los materiales que entran en el proceso como inputs, ya que la fabricación es manual. La valoración de impacto sobre los recursos se encuentra en un caso similar, añadiendo la extracción de la tierra como explotación de recurso, pero siendo ésta muy mínima por la gran abundancia del material

Durante el transcurso de su vida útil el material no desprende ningún tipo de radiación ni productos tóxicos, es un material durable y de fácil mantenimiento. No sufrirá el ataque de microorganismos si se escoge el adecuado revestimiento. Térmicamente es un material muy ventajoso que presentará un gran ahorro energético por climatización.

Los análisis energéticos del bloque de tierra comprimida como árido proveniente del reciclaje de escombros depende en gran medida del tipo de producción y de la localización del centro.

Clasificación

Uno de los elementos más interesantes del ACV es su aportación de pasar de una visión vectorial de los estudios ambientales de los 80 (aire, agua, residuos) a una nueva clasificación mucho más específica de los impactos en tres macro áreas como son el agotamiento de los recursos, contaminación y las transformaciones físicas.

En el campo del agotamiento del recurso es necesario diferenciar entre los recursos no renovables (petróleo, carbón,...), el ciclo del agua o los de flujo continuo como el suelo y el viento. En el apartado de contaminación son de destacar los afectos en el cambio climático, agujero de ozono, toxicidad humana, foto oxidación, acidificación, eutrofización, ruido, olores,... y las transformaciones físicas como los impactos en las plantas y animales, usos del sol, introducción de nuevas especies, impactos sobre el hombre no tóxicos. La confección de una lista normalizada de clasificaciones con un número acotado de impactos, facilitará la comparación de los resultados de estudios ACV entre diferentes países.

ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

El futuro de nuestro planeta está en la balanza, podrá equilibrarse o...

PRESENTACIÓ **EMISIONS AIRE** EMISIONS AIGUA

EMISIONS de CO2 (a l'atmosfera)

EX. VALORS ORIENTATIUS

Motor	PEGASO		
Model	9105		
Potencia a1500rpm	160	Cv	
Consum específic	170	gr/Cv.h	
Pes específic del combustible.	0.84	kg/l	
Velocitat mitja	10	km/h	
Distància Recorreguda	1	km	
Factor d'Emissió de CO2	2.094		
Factor d'Emissió de SO2	0.0039		
Factor d'Emissió de NOx	0.0014		

Consum combustible: 0.3238 l/h

Consum mitg efectiu: 0.0031 km/l

Volum d'Emissions:

- 67.5484 Kg CO2
- 1.2581 Kg SO2
- 0.4516 Kg NOx

CÀLCUL

Factors d'Emissió: C:\ TRASPAS

UdG Universitat de Girona Escola Politècnica Superior Generalitat de Catalunya El Medi Ambient

Caracterización

Es un apartado complejo ya que la transformación de diferentes parámetros ambientales (CO2, CH4, CFC,...) que ocasionan un impacto en el efecto invernadero es difícil de homogeneizar de forma objetiva en un único valor. Esta problemática se complica más cuando los parámetros de impacto no son globales sino locales.

Una de las estrategias que se están aplicando en algunos estudios por simplificar esta fase es considerar solamente las emisiones que superen los niveles máximos permisibles locales. Otra vía se basa con el concepto de "less-is-better", en que aunque el producto estudiado no supere los umbrales la prevención es básica puesto que puede existir un factor sumatorio de pequeños impactos.

Valoración

Integra los aspectos económicos, toxicológicos y sociales ocasionados por los impactos ambientales. La tendencia actual de integración de las diferentes formas de realizar el estudio de impacto van encaminadas a considerar los aspectos locales y a simplificar al máximo, sin perder la objetividad de evaluación de impacto. En la actualidad SETAC y ISO están trabajando en la optimización y homogenización de esta fase. Como se observa, energéticamente el bloque de tierra comprimida representa un material muy ventajoso, si se tienen en cuenta la repercusión energética de sus 0,82 Mj/Kg, en comparación con los 2,86 Mj/Kg de la fábrica cerámica maciza, o los 2,85 Mj / Kg del ladrillo perforado y los 2,96 Mj/Kg del ladrillo hueco.

Así por ejemplo no habrá el mismo gasto energético para bloques autoconstruidos, o bajas producciones de tipo manual, que procesos industrializados para la obtención de bloques que aunque incrementaría un poco el consumo energético en cuanto al proceso de compresión y transporte, repercutiría en una mayor calidad y capacidad de control del mismo, en definitiva en un mejor producto. A parte esta mecanización del proceso no produciría un incremento de consumo energético excesivo si se localiza en una zona próxima al punto de extracción de tierras.

<i>MATERIAL</i>	<i>Contenido energía primària³¹ (MJ/Kg)</i>
Acero comercial (20% reciclado)	35
Acero 100 % reciclado (teórico)	13±3
Aluminio primario	210±78
Aluminio 100% reciclado (teórico)	23
Aluminio comercial (30% reciclado)	160
Arcilla cocida, ladrillos y teja 800-850°C	4.3±2(en función tipo de horno continuo o discontinuo)
Arcilla bicocción materiales cerámicos vitrificados 900-950°C	10
Arcilla cocida. Sanitarios y gres porcelánico Monococción de baja porosidad.1100°-1150°C	27.5
Monococción porosa semigres cocción fuerte 1000-1050°C	
Cerámica Klinkerizada 1250°-1280°C	
Porcelana Técnica 1320-1350°C	
Reciclaje cerámica	0.7
Arena	0.1
Asfalto, en tela	10
Corcho aglomerado	6.2
Cemento ³²	7.2±1.8
Fibrocemento (de amianto)	6
Fibrocemento (de fibras sintéticas o madera)	9
Cobre primario	170
Cobre comercial (20% reciclado)	70
Fibra de vidrio	30±5
Grava	0.1

³¹ Method for analyzing the environmental impact of the elements in building construction. Aut. H.Coch, A.Cuchi, A.Isalgué, A.Rifà. ETSAB. UPC

³² Anàlisis actividad industrial en España 1992 (2.5Mj/Kgr). Estudio CEE DGXVII.1992. En 1990 = 2.9Mj/Kgr.

Madera de clima templado	3±1.8
Madera tropical	6±1
Madera, tablero aglomerante sin formaldehidos	14
Madera, tablero aglomerado con formaldehidos	14
Madera, tablerocontraplacado	5
Pintura plástica (de base acuosa) que cumpla norma ecológica	20
Pintura plástica de base acuosa	20
Pinturas y barnices sintéticos (esmaltes) (de base de disolventes orgánicos) norma	100
Policloropreno (neopreno)	100
Poliestireno expandido (EPS)	120
Poliestireno extruído (XPS) con agente inflante tipo HCFC.	100
Poliestireno extruído (XPS) con agente inflante tipo CO2	100
Polietileno (PE) primario	75±10
Polietileno (PE) reciclado (més del 70%)	n.d.
Polipropileno (PP) primario	80
Polipropileno (PP) reciclado (més del 70%)	n.d.
Poliuretano (PUR) con agente inflante tipo HCFC o diclorometano	70
Poliuretano (PUR) con agente inflante tipo CO2 o similar	70
PVC primario	80
PVC reciclado (més del 70%)	n.d.
Vidrio plano	21±3.8
Vidrio plano reciclado	15±5
Yeso	3.2±2

MATERIALES COMPUESTOS

<i>MATERIALES</i>	<i>Contenido de energia primària (MJ/Kg)</i>
Mortero M-40/a	1
Mortero M-80/a	1.34
Hormigón H-150	0.99
Hormigón H-175	1.03
Hormigón H-200	1.13
Fàbrica de ladrillo hueco	2.96
Fàbrica de ladrillo perforado	2.85
Fàbrica de ladrillo macizo	2.86
Forjado de bovedilla cerámico y losa hormigón	585Mj/m2

Estrategias de simplificación de ACV. Sreening ACV

Uno de los problemas de la evaluación del impacto ambiental deriva del elevado tiempo para su realización (más de cuatro años por un estudio de ACV de envases y embalajes) y su elevado coste ocasionado por la reducida disponibilidad de información ambiental por los nuevos productos.

En la actualidad los estudios de simplificación metodológicas están relacionadas en la obtención del mejor equilibrio entre la cantidad de parámetros ambientales a estudiar y su grado de detalle por obtener un inventario óptimo con los mínimos recursos económicos, con un tiempo corto para poder facilitar la toma de decisiones ambientales.

Una de las actuaciones en esta línea son los trabajos desarrollados por la Universidad de Berlin por la vía de nuevas estrategias de "escreening" ACV para el diseño de productos más respetuosos con el medio ambiente. El proceso consiste en seleccionar las etapas y flujos más impactantes del proceso y cuantificarlos de forma cualitativa (elevado, moderado o bajo impacto), posteriormente en los aspectos de elevado impacto, completadas con datos semicuantitativos. Los resultados preliminares anteriores indican que esta metodología simplificada es factible para estudios con poca disponibilidad de tiempo (seis meses) y de recursos.

En la Tesis se propone resumir todos estos parámetros en un solo cuadro, de uso comparativo entre los diferentes materiales:

ANÁLISIS ECOBIOCONSTRUCTIVO DE IMPACTO AMBIENTAL. ACV			
MATERIAL	BTC.	Procedencia	Covachuelas
INVENTARIO	INPUTS-OUTPUTS		
Factores Energéticos	durante		
En Mj/Kgr			Extracción
			Fabricación
			Transporte
			Aplicación-construcción
			Uso y Mantenimiento
			Deconstrucción
			Reciclaje
Emisiones residuales			
En Kgr	gaseosas		COV (compuestos orgánicos)
			CO2
			NOx
			SO3-
	líquidas		agua
			aceites
			metales
			hidrocarburos
	sólidas		polvo
			fibras
			Restos
VALORACIÓN			
Factores Arquitectónicos	Entorno		Paisaje natural y Urbano Apropriado a la Cultura local
Si/no	Bioclimáticos		Masa térmica Aislamiento térmico
	Salud y Bioconstructivos		Permeabilidad al vapor- transpirabilidad Cargas electrostáticas- radioactivas y polvo Aislamiento acústico.
	Durabilidad		

	Mano de obra		Cualificación –apropiación de la tecnología
--	--------------	--	------------------------------------------------

Morfologías y soluciones arquitectónicas derivadas

Principalmente se utiliza el material tierra en forma de BTC, efectuado en la prensa manual GEO 50, aunque también se utiliza en los morteros bastardos. Los bloques están colocados en la planta piso, en aparejo de sogas y tizones de 30 cms de grosor. El bloque estabilizado queda visto al exterior debido a su resistencia.

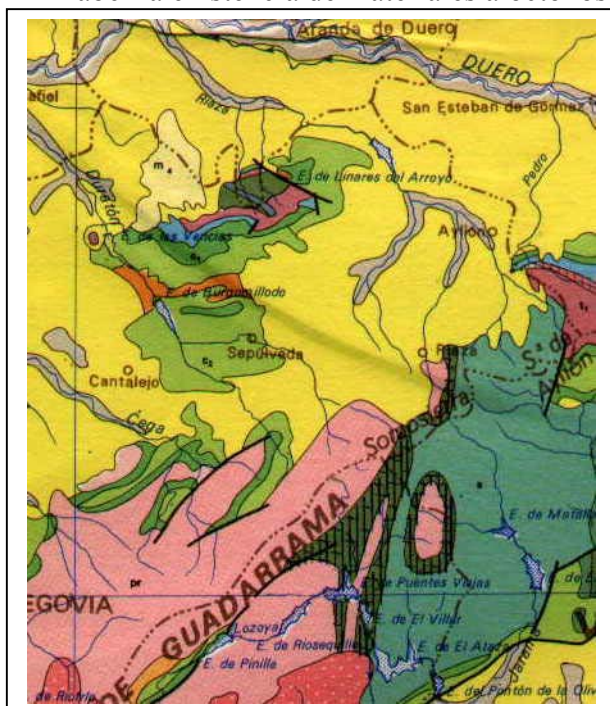


Tipología de suelo y su composición. Ensayos cristalográficos petrográficos y químicos

Identificación visual y organolépticas de la Tierra **COV**

Información del Mapa Geológico

Por la consulta al mapa geológico del Instituto Minero y Geológico de España, se extrae que la zona corresponde a terrenos miocénicos (color amarillo. Terciario/Neogeno), con presencia de formaciones calcareas del Cretácico inferior. Cabe destacar que podría haber la existencia de materiales alóctonos provinientes de la erosión de la Sierra del Guadarrama compuesta por Pizarras y Grauvacas del Precámbrico.



De la publicación de la Reunión Hispano – Belga sobre materiales arcillosos, página 213, se extrae que los materiales de la Cuenca del Tajo son ricos en Saponitas y Montmorillonitas magnésicas, con presencia de sepiolita y calcita.

Erosión, deslizamientos y formación de microrelieve

La zona geológica tiene eminentemente un carácter calcáreo, debido a las formaciones rocosas miocénicas que afloran por la erosión fluvial del río Duratón. Por ello los depósitos sedimentarios térreos poseen un gran número de rocas disgregadas. El microrelieve local es bastante suave, a excepción de las peñas calcareas. No hay presencia de taludes consolidados verticales, sino a contrario estos aparecen bastante erosionados.



Descripción del lugar y forma de obtención de la tierra

La tierra está compuesta por restos de otras viviendas rurales y materiales aluviales sedimentarios. Ésta es muy superficial, ya que a poca profundidad se encuentra la roca. La extracción de tierra para la obra se efectúa con excavadora, la cual amontona directamente la tierra a utilizar pasandola por zarandas con malla de 2.5cms, con el consiguiente ahorro de cribado mecánico. Para estas operaciones no hay problemas de limitación de superficie de trabajo.

Color de la muestra de tierra en seco y en dispersión en agua

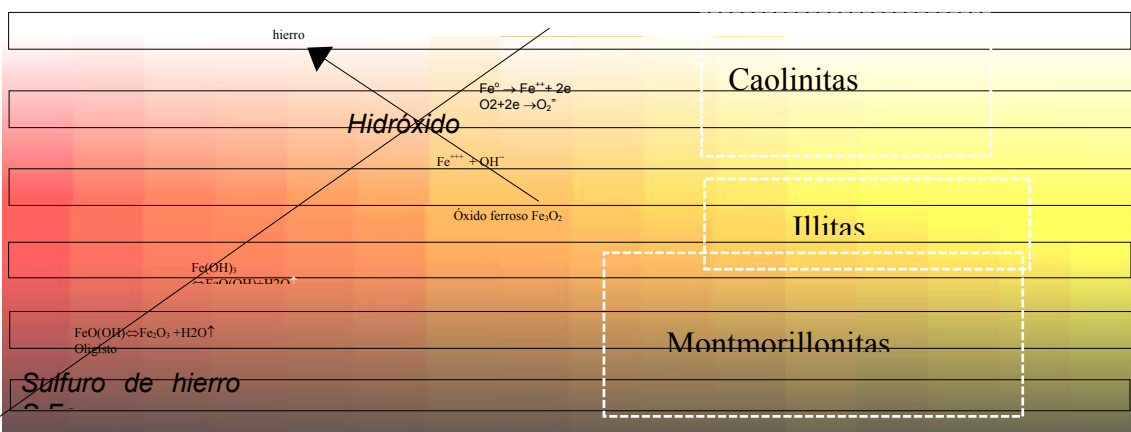


CAOLINITA.
 Ligeras erosiones o tubificaciones.
 Desprendimientos.
 Formaciones graníticas, basálticas, areniscas, con buen drenaje.
 Color gris claro o blancas, moteado o jaspeado, rojo, y naranja.
 Baja plasticidad, baja cohesión y no expansivo. Tamaño promedio $\cong 1\mu$

ILLITAS.
 Formaciones de lutitas y pizarras, alta salinidad.
 Agrietamiento intenso y profundo de 30 cm. o más, si son ricas en calcio espaciamento de 5 a 6 cms.
 Color café o café-rojizo, dispersiones amarillo-café a rojo-café.
 Tamaño $\cong 0.1\mu$

MONTMORILLONITA.
 Micro relieves superficiales, rugosos superficialmente si hay gran salinidad. En formaciones basálticas, con poco drenaje.
 Se dan en formaciones calizas, de lutitas y pizarras.
 Color gris oscuro y negras, y moteado o jaspeado en color amarillo, naranja y gris, dispersión en color amarillo-café a rojo-café.
 Tamaño promedio $\leq 0.01\mu$.
 Altamente expansiva, muy plástica, ~~comachilidad extramediana baja~~

MICA.
 Partículas pequeñas de alta refracción, blancas (moscovita) o negras (biotita).
 Sin cohesión, se meteoriza fácilmente compactable



Corrosión electrolítica del hierro.

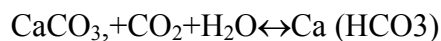
Aguas superficiales: Coloración, turbidez y encharcamiento.

El color de las aguas superficiales es un poco más claro, y su turbidez es baja. Se producen encharcamientos en las zonas cercanas al río, pero en los caminos y campos existe muy buen drenaje, ello podría ser indicador de que no hay un exceso de arcillas en la tierra.

Inclusiones de carbonatos, hierro, raíces, y materia orgánica.

La vegetación es muy escasa, siendo la hierba el elemento predominante, por ello en la tierra casi no hay presencia de raíces o hierbas. A pesar de ello la primera capa superficial del suelo se retiró por la presencia de excrementos de oveja.

Por la descripción geológica, es evidente que sea normal la presencia de procesos de carbonatación por el ataque sobre el CaCO_3 , a pesar de ser insoluble en agua. El elemento causante del ataque es el ácido carbónico atmosférico, producto de combinación del agua con el CO_2 del aire y que puede ser enriquecido por la materia orgánica presente. Entonces el Carbonato cálcico se convierte en bicarbonato cálcico, el cual sí que es soluble en agua, con lo que la roca pasa a ser erosionable. La expresión química que describe el proceso es la siguiente:



Textura y consistencia.

Aparentemente la tierra tiene una consistencia media, con una textura limo-arenosa, establecido por los ensayos de campo, cilindro 5-15cms, el ensayo de la lengua, y el del tacto, descritos en el capítulo de los antecedentes.



Obtención y recogida de muestras

Obtención y recogida de muestras

Las muestras fueron tomadas de la misma obra, del núcleo rural de Covachuelas, de los montones de tierra preparada para ejecutar bloques comprimidos de tierra estabilizada. Ésta procedía de una mezcla de ruinas de muros de tierra y piedra, y de taludes cercanos a la Tenada.

Para la realización de BTC se hace indispensable homogeneizar el material y seleccionar el tamaño máximo del árido para conseguir una mezcla de tierra adecuada. La tierra presentaba piedras de tamaño superior a 5cms, y terrones compactados que fueron apartados antes de preparar la tierra estabilizada.

En obra, esto se ha efectuado por tamizado, y por el proceso tradicional de defloculación natural de la tierra al dejarla al aire libre para que sufra un proceso de humectación-desección-gelifracción invernal.

Selección del material para la elaboración de probetas.

En el laboratorio se ha estandarizado la disgregación de los nódulos de arcilla mediante el empleo de 25 golpes de maza metálica de 1Kgr, dejándola caer desde 20cms de altura. Posteriormente se ha cribado el material por tamiz estandarizado de 25mm.

Procedimiento de obtención de las probetas

El estudio de laboratorio se efectuó con muestras de bloques comprimidos en una prensa GEO 50, ejecutados a una presión de unos 20Kp/cm², y dosificaciones de agua óptima para conseguir una resistencia y densidad máximas y una absorción mínima. Los bloques con medida de 29x14.5x11 fueron cortados por la mitad mediante disco de diamante, para ajustarse a la medida de la prensa de rotura a compresión, a la vez que se facilitaba su manejo en otros ensayos.

También se han utilizado microprobetas de laboratorio, elaboradas con un molde metálico desmontable de 5 cms de radio y altura 5 cms, relación 1/1, y una serie de 1.4x1.4x5 cms.

Cabe citar que algunas probetas pueden mostrar coqueas y defectos de compactación debido a las pequeñas dimensiones del molde, si no se adquiere método en el relleno y compactado. El sistema manual, como en el Proctor, no permite una compactación uniforme, a la vez que se da un efecto de disipación de presión por la fricción y adherencia a las paredes del molde de la tierra. Con ello es difícil establecer una presión estándar equiparable a cualquier tipo de prensa. En menor medida se da en los moldes estándar de mayor tamaño, como los del Ensayo Proctor, pero aún y así se producen coqueas, a la vez que las lecturas de volúmenes para contabilizar densidades, no contemplaban el error variable que produce la retracción de las arcillas en su secado. Por lo que se reitera en la necesidad de mecanizar el compactado de la tierra con una prensa hidráulica.



Codificación

A continuación se relacionan toda la serie completa de probetas utilizadas para el estudio de la muestra de tierra **COV**, así como las dosificaciones empleadas en peso. Como fase experimental se han estudiado diversas dosis de estabilizantes asequibles, para poder establecer los más óptimos en función de las prestaciones de durabilidad y resistencia. Éstos son el Cemento Portland (P) en un 14% y 7%, los cementos naturales en un 7% con adición de yeso al 3% para provocar la formación de aluminatos y sulfoaluminatos, y la cal aérea al 6% combinada con una adición puzolánica, polvo de ladrillo cocido. Además se incorporan estabilizantes químicos capaces de liberar mayor sílice y deflocular a las arcillas presentes, como la sosa caústica NaOH y el silicato sódico.

n° Muestra	cal gr.	%	cemento gr.	%	agua a.	relació	relació	
	Y +Cn					a/c	a/c+<80µ	
M.P. probeta experimental.			P-450Molins					
El número determina la cantidad de estabilizante utilizado						0,5	alçada microprobetes 3,7	
La letras definen los estabilizantes según:				ESTABILIZACION		DOSIFICACIÓN		
P= Cemento portland C= Cal Y=Yeso Cn= Cemento Rápido natural h= %humedad				en peso		MEDIDAS MUESTRA		
n°	c.grs	%	c.grs	%	a.	a/c	a/c+<80µ	Ø
						±		
COV								
COV7p10%HR	0,00	0%	14,12	10%	14,12	1	0,14	5,185
COV7p11%HR	0,00	0%	15,86	11%	15,86	1	0,16	5,21
COV 14P10%hr	0,00	0%	13,17	10%	13,17	1	0,13	5,21
COV14p 11%hr	0,00	0%	16,94	11%	16,94	1	0,17	5,18
COV7y14Cn	0,36	21%	0,00	0%	17,76	49,65	0,17	5,11
COV7y14Cn 13%hr	0,33	21%	0,00	0%	18,45	55,67	1,22	5,23
COV7y14Cn 14%hr	0,32	21%	0,00	0%	18,62	57,57	3,00	5,17
COV7y14Cn 15%hr	0,32	21%	0,00	0%	18,96	58,69	3,05	5,22
COV3y7Cn+2%SiNa	31,69	21%	0,00	0%	18,11	0,571	2,91	5,11
COV3y7Cn+3%SiNa	31,69	21%	0,00	0%	18,11	0,571	2,91	5,11
COV3y7Cn+4%SiNa	31,69	21%	0,00	0%	18,11	0,571	2,91	5,11
COV3y7Cn+5%SiNa	14,20	10%	0,00	0%	17,04	1,2	2,74	5,11
COV3y7Cn+6%SiNa	15,66	11%	0,00	0%	17,89	1,143	2,88	5,11
COV3y7Cn+7%SiNa	14,94	11%	0,00	0%	17,08	1,143	2,75	4,59
COV3y7Cn+2%OHNa	14,91	11%	0,00	0%	17,04	1,143	2,74	5,11
COV3y7Cn+3%OHNa	13,56	11%	0,00	0%	15,49	1,143	2,49	5,11
COV3y7Cn+4%OHNa	15,61	11%	0,00	0%	17,84	1,143	2,87	5,11
COV3y7Cn+5%OHNa	13,99	10%	0,00	0%	16,79	1,2	2,70	5,11
COV3y7Cn+6%OHNa	14,31	10%	0,00	0%	17,17	1,2	2,76	5,11
COV 18R"6Ca 13%Hr	8,80	6%	26,41	18%	19,07	0,722	4,68	5,11
COV 18R"6Ca 14% Hr	8,71	6%	26,14	18%	20,33	0,778	4,98	5,11
COV 18R"6Ca 16%Hr	7,85	6%	23,56	18%	20,94	0,889	5,13	19,63
COV 8P 6Y 6Cn 1% Na OH	1/2l sosa al30%		2/15palas	8%	3/4 cubo			4x4x4
COV Y CN	1pala yeso		2/15palas	8%	3/4 cubo			14x12
COV 8P			2/15palas	8%	3/4 cubo			14x8
COV 8P 1% Na OH	1/2l sosa al30%		2/15palas	8%	3/4 cubo			14x9
COV 8P 4% Na OH	2l sosa al30%		2/15palas	8%	3/4 cubo			14x10
COV 8P			2/15palas	8%	3/4 cubo			10,77x14,26
COV 8P			2/15palas	8%	3/4 cubo			10,1x14,0
COV 8P 3Y							1,4	3,9x3,9x1,4
COV 8P 3Y							1,4	3,9x3,9x1,5
COV 8P 3Y							1,4	3,9x3,9x1,6

1.1.1.1.1.1. Ensayos físicos efectuados para detectar problemas constructivos del material sin estabilizar

Evaluación de la Estabilidad volumétrica mediante el Ensayo de Retracción

Con una muestra de barro de plasticidad normalizada³³, se rellena un molde de probetas cúbicas, preferentemente plástico o metálico con alta finura, de 50 cm de longitud, por 5 cm de ancho y alto, previamente engrasado con aceite. Se deja la muestra secarse en condiciones de laboratorio durante siete días, a una temperatura no superior a 20° C. Transcurrido este tiempo se complementa el secado, mediante horno a 60°C durante 24 horas.

El valor de la retracción seca, se determina por la medida de las fisuras de la muestra prismática de tierra y separaciones con el molde. A partir de esto se obtienen dos valores comparativos, la retracción lineal en porcentaje de el acortamiento respecto la longitud, y el tipo de fisuración obtenido, evaluado mediante el número de fisuras en la muestra y la distancia entre ellas.

Para la ejecución deBTC serán válidos los valores de Retracción lineal que sean inferiores al 3%.

La presencia de fisuras indicará a priori la necesidad de un tipo estabilización propio para este factor intrínseco al material.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en la muestra COV, de tierra pura sin tratar.

Wr. Retracción	Retracción lineal % molde 50x5x5	Distribución de la Retracción 7días
$2(Pw-Ps)+(Pho-Ph)x100/Ps.$		Estado fluido. n° de fisuras/ dist.max entre ellas
UNE 7016	Obtener <3%	A obtener 0
<small>Baja en la caolinitas/media en Illitas-micas/alta en montmorillonitas/limitada en la clorita-vermiculita</small>		
Wr.	Wr' 3,17%	dWr' 0,70

Estos datos se corresponden a la presencia de Saponita y Montmorillonita, tal como se cita en el análisis geológico, lo que origina un mayor grado de inestabilidad volumétrica del material tierra. Por ello será indispensable la utilización de una estabilización de la retracción de las arcillas mediante la utilización de proporciones superiores al 7% en peso de cemento.

Norma de referencia : [Preparación de la muestra de barro. Plasticidad normalizada. Ensayo de retracción y resistencia a la compresión. DIN 18952. ASTM D](#)

³³ - Plasticidad normalizada. Se eliminan los granos del esqueleto mineralógico de tamaño superior a dos mm, por selección o tamizado, previamente secado y triturado. Con la vista se comprueba la finura del grano medio más grande de dos mm., se aplasta con un martillo de albañil (2,5 cm. x 2,5 cm de cabeza) sobre una chapa metálica, añadiendo escasamente agua, hasta conseguir una pasta coherente. La pasta conseguida se levanta con un cuchillo y se la corta en tiras. Se entremezclan las tiras y se machaca otra vez con el martillo la pasta conseguida, se vuelve a cortar y a machacar de nuevo. Se repite este procedimiento hasta que se note textura regular en la parte en contacto con la chapa. En el caso de que el barro esté seco al comenzar la preparación, deberá reposar seis horas después de machacado, cubierto con un trapo húmedo. Si es barro de naturaleza arcillosa durante 12h. Al reposar el barro la humedad se repartirá igualmente en toda su masa.

Se toman 200 gr. de barro preparado se densifican golpeando varias veces en una chapa. A continuación se forma una bola con la mano durante un tiempo limitado, para que su superficie no elimine una gran cantidad de agua y la plasticidad se mantenga uniforme en la masa. Se deja caer sobre una chapa rígida desde una altura de 2.000 mm. medida al centro de la bola. Se considera que el barro tiene una plasticidad normalizada, si la depresión originada en la esfera es de un diámetro de 50mm. En el caso de que la depresión no sea circular, la diferencia entre el eje máximo y mínimo de ésta, no deberá ser mayor de 2 mm.

[421-58 “Standard Method for dry preparation of soil sampler for particle size analysis and determination of soil constants”](#).

[Determinación del límite de retracción de un terreno UNE 7016. ASTM 427-93 pág.](#)

¡Error! Marcador no definido.

Determinación y evaluación de la Curva Granulométría

La Determinación de las curvas granulométricas se efectúa apartir del análisis granulométrico y sedimentométrico de las diversas fracciones definidas por los tamaños máximos de partículas.

[En las normas referenciadas en los antecedentes, para análisis mas genéricos de la tierra o el suelo-cemento, y con un tamaño del árido superior a 5cms, se toman 500 gramos de muestra para efectuar el ensayo. Para el caso más específico del BTC, donde el tamaño máximo del árido estará por debajo de los 25mm, inclusive de los 10mm, se permite adoptar sólo 200grs, lo cual facilitará enormemente la labor de limpieza y decantación de finos. Hay que tener en cuenta que para tierras muy arenosas, esta cantidad de muestra nos puede resultar insuficiente para extraer los 50gramos de partículas <80µ para efectuar el posterior análisis sedimentométrico.](#)

[Así se toman 500 o 200 gramos de la muestra de tierra,secados a una temperatura de 60°, y finalmente 15 minutos a 105°C.](#)

[Para facilitar el proceso de defloculación de los granulos de arcilla y la separación de los finos, se dejará toda la muestra inmersa en agua destilada, y previamente al tamizado se efectuará el ensayo de la lectura del nivel de arenas, en referencia a la UNE 7-324-76. ASTM 02419 Y la NLT-113/72.](#)

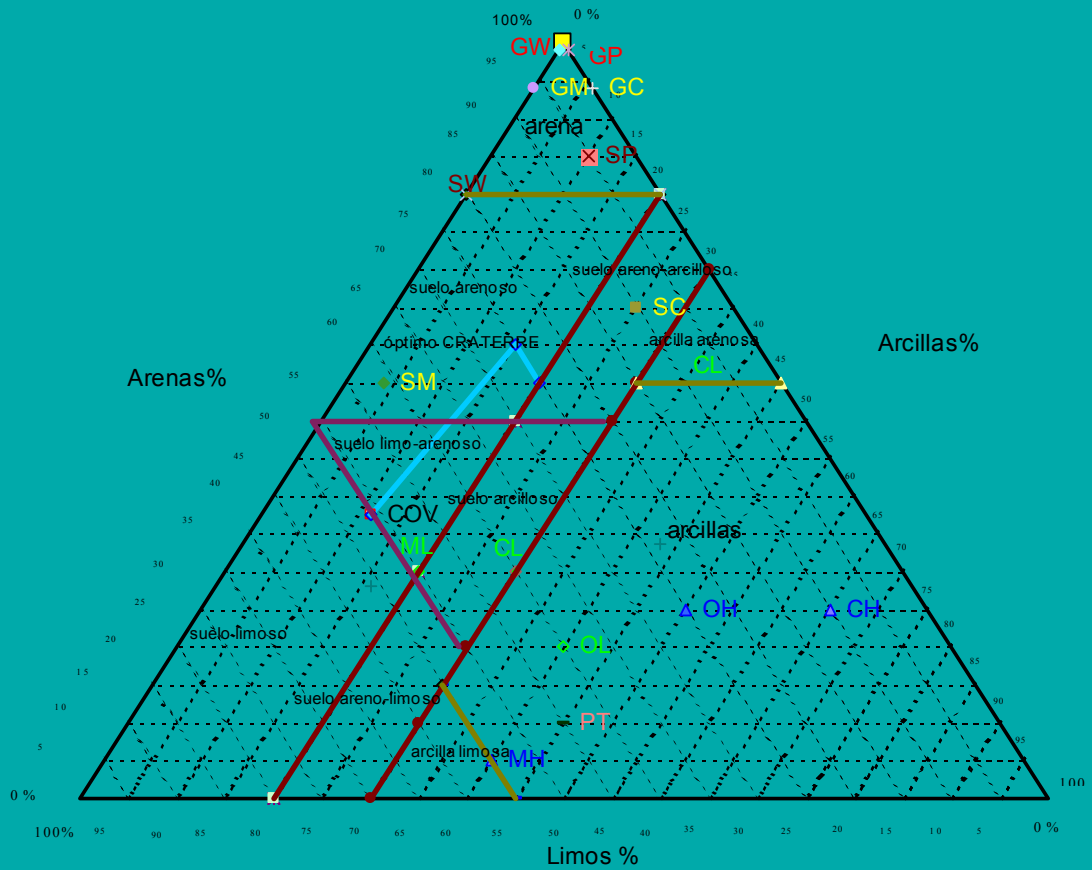
De manera simultánea se habrá medido la densidad aparente y absoluta de uno de los terrones de tierra, tal como se ha efectuado para las arcillas del Grupo Y, datos indispensables para efectuar la sedimentometría a posteriori.

El ensayo consiste en disgregar una muestra de 100gr, para diluirla en una disolución de agua destilada con una proporción de 480 grs. Cl₂ Ca, 170 gr. de Glicerina y 50 gr. de Formaldehído al 40%, por cada 2l. La adición de este floculante ayuda a ver con mayor claridad y rapidez los diferentes niveles de decantación de las fracciones granulométricas, pero conlleva la alteración físico-química de la muestra, y por ello finalmente se descarta.

Para conseguir una óptima disolución se prepara una pasta de barbutina con unos 20cm³ de agua destilada, 24 horas previo al ensayo, permitiendo así una defloculación más efectiva de las arcillas.

A esta barbutina después del reposo se le añaden 480cm³ de agua destilada, muy despacio por tubo irrigador de cobre en el fondo de la probeta. Ésta será graduada y de cristal de laboratorio de 43 cms de altura y un diámetro de 32mm. A continuación se





agita 1 minuto a 3 ciclos/segundo manual o mecánicamente.

11,36 %	51,10 %	37,54 %
---------	---------	---------

Las partículas mayores que $>80\mu$ micras se precipitan al fondo instantáneamente, con lo que podemos efectuar una 1ª lectura en la probeta graduada, correspondiente al nivel de arenas, tras dos golpes al fondo para asentar mejor las partículas más gruesas.. A los 15 minutos efectuamos una segunda lectura, ya que aparecerá un nivel de precipitado diferenciado que corresponde a los limos. El resto se precipitará durante los siguientes tres días y comprende a la fracción arcillosa.

En éste gráfico ternario se sitúa el punto correspondiente a la muestra **COV**, y los puntos óptimos granulométricos equivalentes, según el CraTerre, unidos por una línea azul. Cada extremo del triángulo representa el 100% de un componente y a la vez el 0% de otro. Con ello se puede representar gráficamente bidimensionalmente la composición de una tierra mediante sus tres componentes principales: porcentaje de arena; % de arcilla; y % de limo.

Éste sistema de clasificación ternario, sitúa a su vez, las zonas con el color y la nomenclatura propia del sistema de Casagrande, utilizado en la [ASTM D2487](#).

De ello se deduce que la muestra **COV** corresponde a un suelo **ML** limoso-arenoso, algo alejado del óptimo establecido en la zona **SM** de suelos arenosos.

Tras éste ensayo, para separar las fracciones finas de las gruesas se succionan las primeras por un tubo irrigador trasbasándolo a un erlenmeyer o plato. Cuando ya no es posible diferenciar los limos de las arenas finas se hace un agitado de la probeta de 1/2' a 3 ciclos por segundo, de derecha a izquierda 20cm, y se decanta la disolución inmediatamente. La fracción arenosa es lavada y decantada hasta que el agua aparezca clara.

Después la muestra ya seca, através de secado en estufa a 105°C, se pasa por los tamices normalizados según la [ASTM E 11-70](#), [ASTM C-29-69](#) [UNE 7050](#), [MNE 7177](#) de 5000/2500/1250/800/630/300/155/70 micras. Éste proceso se para cuando ya no pasa más de un 1% por minuto por el tamiz. Cada fracción tamizada es pesada por separado con exactitud de décima de gramo.

El sacudido mecánico o manual se efectua con la tapadera colocada, para después acabar de presionar cuidadosamente con pincel, con lo cual se recuperan todas las arenas finas, limos y arcillas que hubieran quedado aún pegados a los áridos.

*La fracción granulométrica limosa y arcillosa <70μ se separa de las arenas por decantación con agua destilada y parte de las partículas en suspensión, por absorción con tubo capilar hecho con vidrio de Sodio calentado. Posteriormente las disoluciones se ponen bajo la lámpara de infrarrojos a una temperatura de 60°C y 60% HR, para no alterar las últimas capas de hidratación atómicas, y poder después hacer las lecturas correctas por ATD o cualquier análisis físico-químico. El secado se interrumpe cuando se obtenga una disolución con una densidad aproximada de 1.050 gm/cm³. A continuación se inicia la sedimentometría para diferenciar los finos mediante el **método de Brockville**, descrito anteriormente en el Grupo Y.*

La Sedimentometría se efectuó con unos 1000 cm³.

Se agita la disolución durante 1' a 3ciclos/segundo manual o mecánicamente, y se empiezan a anotar tiempos, temperaturas (régimen aconsejable 20-25°) y lecturas de un sedimentómetro calibrado y corregido, se aconseja el modelo ASTM SOIL HYDROMETER 152H. La mejor manera de efectuar las lecturas con éste es desde arriba, y anotando la lectura por la parte superior del menisco. Por ello hace falta antes haber tomado lecturas en condiciones normales de laboratorio de presión y temperatura, para comprobar las correcciones a efectuar en cada lectura. Si se aplica algún elemento dispersante, materiales con densidad real también se deberan efectuar las correcciones pertinentes.

Las lectura inicial corresponde al nivel de arena fina, el resto son limos y arcillas. Las lecturas se van efectuando a 1', 2', 3',4', 8' 16' (nivel donde generalmente empieza la fracción arcilla), 30', 60', 2h,16h, 24h y finalmente a las 48 horas. Para comparar las temperaturas se dispone de una probeta secundaria, donde se deposita el termómetro y el hidrómetro entre lectura y lectura.



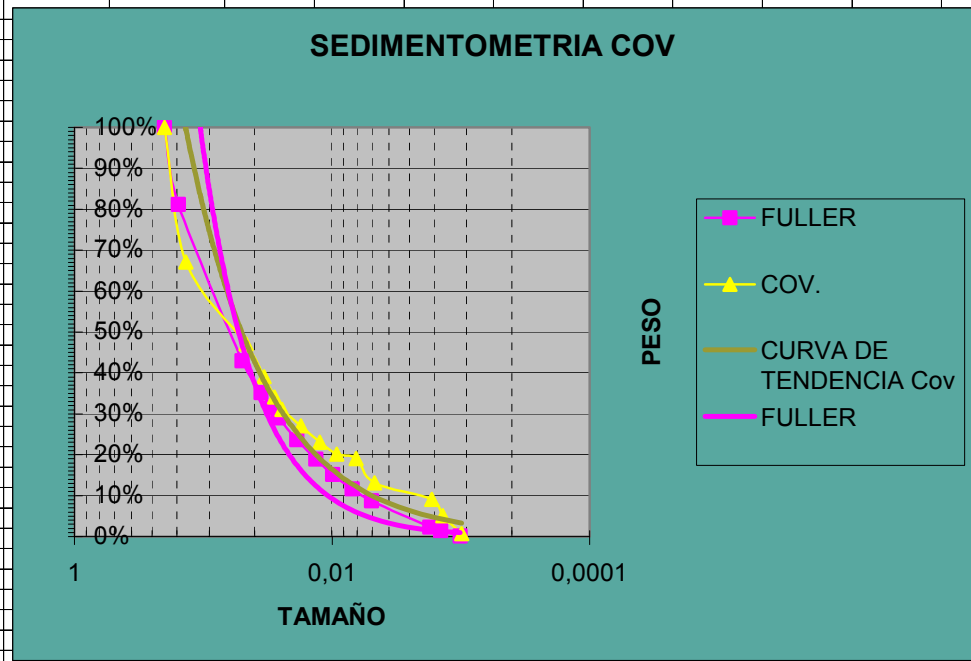
Fig 3 Termómetro, higrómetro y probetas utilizadas para el ensayo.

Posteriormente aplicando la fórmula de Stokes $D = K\sqrt{L/t}$ (K y L se obtienen de las tablas anexas, t es tiempo en

minutos), se calcula el tamaño y cantidad de fracción granulométrica sedimentada en cada instante.

Los resultados obtenidos se exponen en el siguiente cuadro.

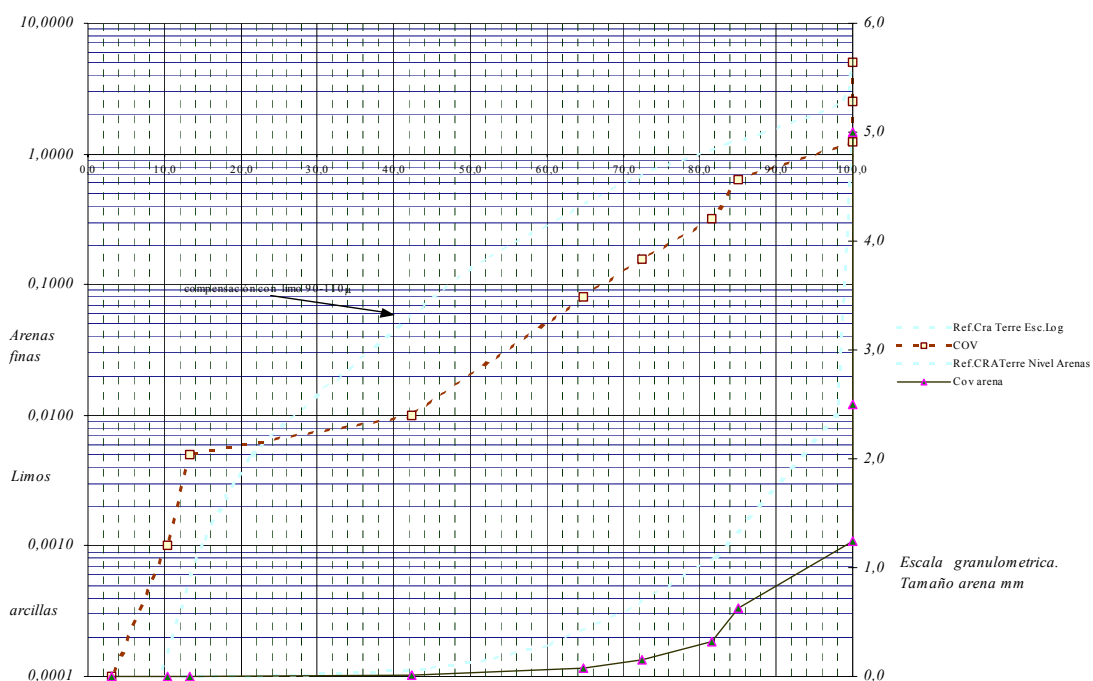
SEDIMENTOMETRIA. ENSAYO BROCKVILLE LABORATORY.															
C. corrección menisco		0													
Cm .corrección 0 según líquido		-0,15		MUESTRA COV COVACHUELAS											
Coef.corrector probeta 500cl		1													
Densidad unitaria inaccesible.Peso específico		2,66	2,70	restos pasantes por <70µ				agitado 30" a 3cl/s							
Coef. a densidad		0,99		20 golpes antes 1a. lectura 5 en las otras				1000							
peso total finos		50	0,02												
Tiempos		0,1	1	2	3	4	8	16	30	60	120	960	1440	2880	resto
Temperatura (valor absoluto)		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Ct. corrección temperatura		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ra. lectura sobre menisco		33,00	23,00	19,00	16,50	15,00	13,00	11,00	9,50	9,00	6,00	4,00	2,00	-0,20	0,00
Re.Lectura corregida		33,55	23,55	19,55	17,05	15,55	13,55	11,55	10,05	9,55	6,55	4,55	2,55	0,35	0
retenido %sobre los finos		32,90%	20,00%	8,00%	5,00%	3,00%	4,00%	4,00%	3,00%	1,00%	6,00%	4,00%	4,00%	4,40%	0,00%
R.corregido menisco		33	23	19	16,5	15	13	11	9,5	9	6	4	2	0,2	0
L. de la tabla STOKES		10,83	12,50	13,17	13,67	13,83	14,17	14,50	14,83	14,83	15,33	15,67	16,00	16,30	
L/tiempo		108,3354	12,5001	6,5834	4,5556	3,4584	1,7708	0,9063	0,4944	0,2472	0,1278	0,0163	0,0111	0,0057	
coef. K.		0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310	0,01310
D.mm de la partícula	0,20	0,13635	0,04632	0,03361	0,02796	0,02436	0,01743	0,01247	0,00921	0,00651	0,00468	0,00167	0,00138	0,00099	
Pasantes %	100%	67%	47%	39%	34%	31%	27%	23%	20%	19%	13%	9%	5%	1%	1%
peso particulas		16,45	10,00	4,00	2,50	1,50	2,00	2,00	1,50	0,50	3,00	2,00	2,00	2,20	0,35
COMPARATIVO Fuller	0%	17%	52%	59%	63%	65%	70%	75%	79%	82%	85%	91%	92%	93%	
	100%	76%	41%	34%	30%	28%	23%	18%	14%	11%	8%	2%	1%	0%	
	7%														



Al sumar los resultados del tamizado con los de la sedimentometría se obtiene para la muestra COV:

RESUMEN PASANTES GRANULOMETRICOS										
Óptimo CRA.Terre .MOPT										
100,0	98,0	82,0	71,0	60,0	52,0	44,0	28,0	24,0	18,0	
100,0	98,0	82,0	71,0	60,0	52,0	44,0	27,0	21,1	14,9	9,4
5,0	2,4	1,1	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Tamaños en mms.								5micra	1micra	<1m

COV	100,0	100,0	100,0	92,9	91,2	87,0	83,3	72,6	17,3	6,5	0,4
-----	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	-----	-----



Los resultados se expresan cómo porcentaje que atraviesa el tamiz. Cómo se comprueba la tierra COV posee un tamaño máximo del árido excelente para la ejecución de bloques BTC, ya que todo está por debajo de los 1.1cms.

Para evaluar la complementariedad y distribución de las diferentes fracciones granulométricas se introducen los datos anteriores en un gráfico que tenga escala logarítmica para los diferentes tamaños de las partículas, y se utiliza una curva de referencia óptima del CRA.Terre para observar en que fracciones hay déficit o exceso.

GRANULOMETRIA METODO PROPIO BASADO EN ASTM D-422 Y NLT-104/91/ NORMAS CEDAZOS UNE 7050/ASTM E 11-39																				
Cantidad óptima de muestra 200grs. <2500µ																				
en micras																				
estabilización con un 9% de cemento portland hay que saber su se																				
secado < 60°C																				
500 cm3 agua destilada añadida por etapas																				
Código ASTM N°5	N°8	N°16	N°30	N°50	N°80	N°200	limos		<100µ =1% max. en hormigón		arcillas		arcillas		arcillas					
<2µ max 0.1% en hormigón																				
Serie intermedia propia P>5000	%	P>2390	%	P>1100	%	P>630	%	P>280	%	P>155	%	P>70	%	P>10	%	P>5µ	%	P>1µ	%	P<1µ
o también UNE P>5000	%	P>2500	%	P>1250	%	P>630	%	P>320	%	P>160	%	P>80	%	P>10	%	P>5µ	%	P>1µ	%	P<1µ
ASTM P>4750	%	P>2380	%	P>1190	%	P>590	%	P>297	%	P>177	%	P>74	%	P>10	%	P>5µ	%	P>1µ	%	P<1µ
																	COV 8P			

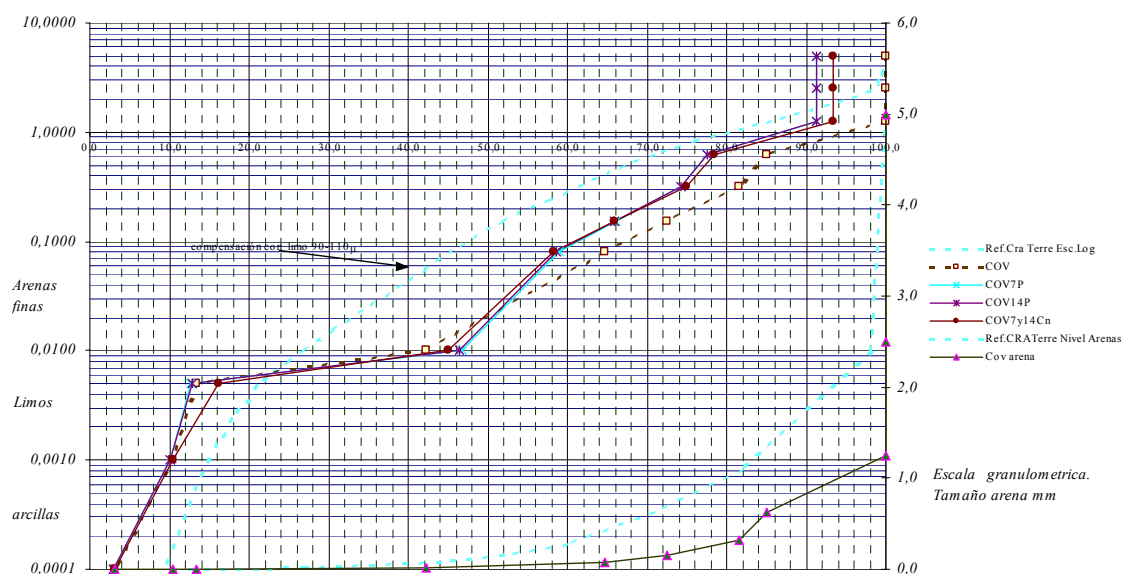
Las curvas ratifican la clasificación de suelo franco limoso-arenoso establecido por el ensayo del equivalente de arena. A pesar de que la curva de los finos se encuentra muy bien distribuida, la fracción granulométrica correspondiente a las arenas finas está en exceso.

Normas de referencia para el desarrollo del método propio: [ASTM E 11-70](#). [UNE 83-100-84](#). [NLT-109/72](#) [Análisis granulométrico](#). [ASTM D 4318-84](#) “Standard Method for Particle-size analysis of soils”/ [BS 1377-75](#). [UNE 103-104-93](#). [ASTM D 1140-54](#) “Standard Method for Amount of Material in soils finer than the N°.200 (75mm) sieve. Material que pasa por el tamiz 0,080 UNE en los áridos, [NLT 152/72](#). [Determinación de finos UNE 7.135](#).

UNE 7-324-76. NLT-113/72. Determinación del equivalente de arena. Método rápido para determinar la proporción y características de los finos.
ASTM D 422-63/ BS 1377-75. UNE 7376/76. Determinación de la Granulometría de los suelos por tamizado para determinar el porcentaje de material fino susceptible de ser expansivo que existe en una muestra de suelo. Lavado final para extraer los finos pegados en los áridos.

Una vez la tierra se estabiliza, las granulometrías varían, tal como se estudia a continuación, compensando mínimamente el exceso de arenas finas, pero sin llegar al óptimo:

n° Muestra	RESUMEN PASANTES GRANULOMETRICOS											
	Óptimo CRA.Terre .MOPT											
M.P probeta experimental.	100,0	98,0	82,0	71,0	60,0	52,0	44,0	28,0	24,0	18,0		
El número determina la cantidad	100,0	98,0	82,0	71,0	60,0	52,0	44,0	27,0	21,1	14,9	9,4	
La letras definen los estabilizantes	5,0	2,4	1,1	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
P= Cemento portland C= Cal	Tamaños en mms.								5micra		1micra	<1m
n°	5,0	2,5	1,3	0,6	0,3	0,2	0,080	0,010	0,005	0,001	0,00	
	referencia curva de Fuller no sirve . ver pasantes inferiores											
	100,0	70,7	50,0	35,5	25,3	17,6	12,6	4,5	3,2	1,4	0,4	
CA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	73,0	17,0	7,0	1,0	
P45	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,7	64,8	42,3	20,6	
R	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	14,1	4,0	2,0	2,0	
CN	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	30,3	7,3	0,0	
COV	100,0	100,0	100,0	85,1	81,5	72,5	64,8	42,3	13,3	10,4	3,2	
COV7p10%HR	91,4	91,4	91,4	77,6	74,3	66,1	58,9	46,8	12,8	10,1	2,9	
COV7p11%HR	90,5	90,5	90,5	76,9	73,6	65,4	58,3	46,3	12,6	10,0	2,9	
COV 14P10%hr	91,3	91,3	91,3	77,5	74,2	65,9	58,7	46,5	12,8	10,1	3,0	
COV14p 11%hr	89,5	89,5	89,5	75,9	72,7	64,5	57,5	45,5	12,5	9,9	2,9	
COV7y14Cn	93,4	93,4	93,4	78,5	74,9	65,9	58,2	45,1	16,2	10,4	3,2	
COV7y14Cn 13%hr	93,6	93,6	93,6	78,7	75,1	66,2	58,4	45,3	16,3	10,5	3,2	
COV7y14Cn 14%hr	93,6	93,6	93,6	78,7	75,1	66,2	58,4	45,3	16,3	10,5	3,2	
COV7y14Cn 15%hr	93,6	93,6	93,6	78,7	75,1	66,2	58,4	45,3	16,3	10,5	3,2	
COV3y7Cn+2%SiNa	94,6	94,6	94,6	82,0	79,0	71,5	65,0	53,9	24,6	17,9	2,7	
COV 18R'6Ca 13%Hr	94,4	94,4	94,4	82,0	79,1	71,7	65,3	42,0	14,4	8,9	2,6	
COV 18R'6Ca 14% Hr	94,4	94,4	94,4	82,0	79,0	71,6	65,2	42,1	14,4	8,9	2,6	
COV 18R'6Ca 16%hr	94,1	94,1	94,1	81,0	77,9	70,0	63,2	41,1	14,5	9,1	2,8	



Determinación de la humedad y estabilizante óptimos para la fabricación de BTC en Covachuelas

Para optimizar la cantidad de agua empleada en los BTC, se relaciona con la densidad, y resistencia alcanzadas.

Para ello se han efectuado diversas series de estabilización variando la humedad relativa, y se han medido las densidades mediante el método del picnómetro y la balanza hidrostática, según el método ya utilizado en el GRUPO Y.

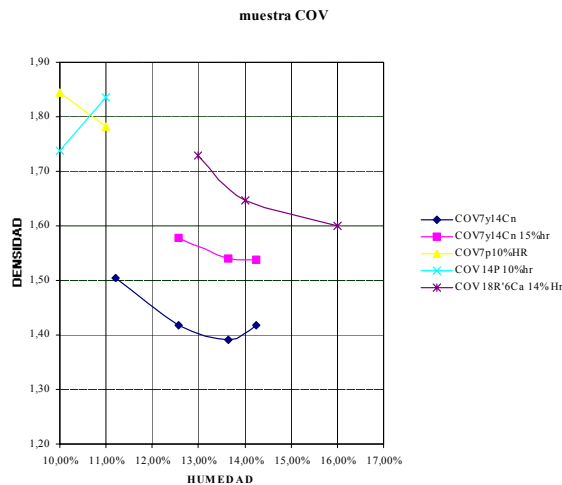
La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en las densidades por el picnómetro:

	sobre probeta proctor	metre aforat	amb m.seca.	mostra saturada	Cl4 C	reste final	que falta	(P2-P4+(P-)+P3)/2	
M.P probeta experimental.	a presión de 20Kp/cm2								
El número determina la cantidad de estabilizante utilizado	24h.estufa	T20°C			μ=1,594			Pw. Peso saturado con Cl4 C	
La letras definen los estabilizantes según:		ref ASTM C-642-81							
P= Cemento portland C= Cal Y=Yeso Cn= Cemento Rápido natural hr= %humedad de fabricación de pesos <0,5%									
nº	Pn.	Ps.	Po.	P1.	P2.	P3.	P4.	P-.	P3.f
COV									
COV7p10%HR	156	141,2	480,3	499,5	510,1	203,9	304,2	-12,9	198,5
COV7p11%HR		144,2	480,3	495,6	510,1	203,9	304,2	-9	200,4
COV 14P10%hr	143,9	131,7	480,3	491,2	508,3	200,3	302,1	-12	197,3
COV14p 11%hr	150,8	154	480,3	500,6	526	212,1	318,8	-11	204,2
COV7y14Cn	150,9	148	482,2	491,7	530,7	205,6	323,1	-7,1	203,1
COV 18R*6Ca 13%Hr		146,7	480	491,5	521	214,1	317,2	-2,1	207,9
COV 18R*6Ca 14% Hr		145,2	480,3	485	519	212,5	291	-11	214,8
COV 18R**6Ca 16%Hr	Peso de fabricación	130,9	482	482,5	515	213	320	-3,4	198,0
COV 8P 6Y 6Cn 1% Na OH		222,5							
COV Y CN									
COV 8P		63,7	477,4	492,5	492,6	80,5	412,1	0,10	80,6
COV 8P 1% Na OH									0,0
COV 8P 4% Na OH		110,5	480,3	494,4	518	141,1	376,9	0,5	141,4

		immersion and boiling							
M.P probeta experimental.	enmarcados valores directos	Ps/Vf	Ps/V0	granos real seco					
El número determina la cantidad de	de agua	Ps/Pw-Ph.	Ps/Ps-Pho.	Ps/Ps-Phd	(Dr-Ds/Ds)	(Dm-Ds/Ds)			((Pw-Ps)/Ps)x100
La letras definen los estabilizantes según:									
P= Cemento Portland C= Cal Y=Yeso Cn= Cemento Rápido natural hr= %humedad de fabricación				Dr=Ds/1-WDs	e _p =Pv/1-Pt	e=Pt0/1-Pt0.			UNE 7008.ASTM
nº	Pw.	Dm.	Ds	Dr.o Di	e	e0.			w.
		incluye en el volumen poroso imaccesible							
COV									
COV7p10%HR	177,12	2,02	1,84	2,63	0,42	0,10			25,44%
COV7p11%HR	179,46	2,01	1,78	2,61	0,46	0,13			24,45%
COV 14P 10%hr	172,82	2,02	1,74	2,53	0,46	0,13			31,22%
COV14p 11%hr	185,46 <input type="text" value="180,3"/>	2,27	1,84	2,54	0,38	0,23			20,43%
COV7y14Cn	193,20	2,37	1,70	2,66	0,56	0,39			30,54%
COV7y14Cn 13%hr	54,74	1,58	1,58	2,52	0,60	0,00			62,74%
COV7y14Cn 14%hr	50,87	1,54	1,54	2,54	0,65	0,00			62,74%
COV7y14Cn 15%hr	49,64	1,54	1,54	2,54	0,65	0,00			62,74%
COV3y7Cn+2%SiNa	56,23	1,59	1,59	2,42	0,52	0,00			62,74%
COV3y7Cn+3%SiNa	56,23	1,59	1,59	2,42	0,52	0,00			62,74%
COV3y7Cn+4%SiNa	56,23	1,59	1,59	2,42	0,52	0,00			62,74%
COV3y7Cn+5%SiNa	185,00	1,93	1,74	2,39	0,38	0,11			30,28%
COV3y7Cn+6%SiNa	55,56	2,03	1,46	2,49	0,71	0,39			62,74%
COV3y7Cn+7%SiNa	53,03	1,93	1,39	2,44	0,75	0,39			62,74%
COV3y7Cn+2%OHNa	52,92	1,93	1,39	2,43	0,75	0,39			62,74%
COV3y7Cn+3%OHNa	48,11	1,76	1,26	2,11	0,67	0,39			62,74%
COV3y7Cn+4%OHNa	55,41	2,02	1,46	2,39	0,64	0,39			62,74%
COV3y7Cn+5%OHNa	186,00	1,90	1,71	2,43	0,42	0,11			32,95%
COV3y7Cn+6%OHNa	191,50	1,95	1,75	2,49	0,42	0,11			33,82%
COV 18R'6Ca 13%hr	185,09 <input type="text" value="188,8"/>	2,21	1,73	2,48	0,43	0,28			26,17%
COV 18R'6Ca 14% Hr	188,83 <input type="text" value="178,8"/>	2,17	1,65	2,43	0,48	0,32			30,05%
COV 18R'6Ca 16%hr	173,00 <input type="text" value="178,4"/>	2,13	1,60	2,39	0,49	0,33			32,16%
COV 8P 6Y 6Cn 1% Na OH	249,40	1,87	1,74	2,47	0,42	0,08			12,09%
COV Y CN				0,00					
COV 8P	71,27	2,09	2,09	2,70	0,29	0,00			16,59%
COV 8P 1% Na OH				0,00					
COV 8P 4% Na OH	129,85	2,42	1,83	2,71	0,48	0,32			17,51%

Tal como se expone en la crítica de los antecedentes, la forma de estabilización empleada y el sistema de compactación estático, no dinámico como se utiliza en el ensayo Proctor, generan variaciones substanciales de la densidad con la misma muestra de tierra. Incluso las estabilizaciones provocan que las diferencias de densidad se reduzcan con los cambios en contenido de agua.

Al ser una tierra franca, la proporción de agua óptima para la compactación disminuye, estando los **óptimos entre un 11% y un 12%** respecto al peso seco.



Determinación de los límites de Atterberg

Se han determinado según lo expuesto en el Grupo I [Ensayo de límite líquido WL por el método de la cuchara y ensayo de límite plástico WP de un suelo, generalmente relacionados con expansividad de los mismos. UNE 7.377.75.](#); **Error! No se encuentra el origen de la referencia. pág.;** **Error! Marcador no definido.;** **Error! No se encuentra el origen de la referencia. pág.;** **Error! Marcador no definido.**
[Determinación del límite plástico de un suelo UNE 7.738.75.](#)

n° Muestra	Wp. Plástico plasticidad%			WL. Límit . % líquido	WL. Líquido método ASTM			Index plasticitat	Actividad. finos
M.P. probeta experimental.					cilindro 3mm				
El número determina la cantidad de estabilizante utilizado	$(Pw^* - Ps/Ps) \times 100$	PW*	PS	$((Pw^{**} - Ps)/Ps) \times 100$	$((Pw^{**} - Ps)/Ps) \times 100$	PW*	PS	WI-Wp	Ip/arcillas + estabilizantes %
La letras definen los estabilizantes según:	Bajo caolinitas/medio Illitas-nicas/alto montmorillonitas								
P= Cemento portland C= Cal Y=Yeso Cn= Cemento Rápido natural hr= %humedad de fabricación									
n°	Wp.			WL.	WL.			Ip.	Act.
COV									
COV3y7Cn+2%SiNa	13,48%	127	112		31,98%	127	96	18,50%	0,33%
COV 18R*6Ca 13%Hr	19,76%	91	76		34,04%	95	71	14,28%	0,29%

Tabla 17 Límites de Atterberg muestra COV.

Para analizar los límites podemos tomar como referencia los siguientes índices generales, o bien consultar la [ASTM D2487](#), en color se señalan las zonas en que se encuentra la muestra **COV**:

Tipo de suelo	Índice de plasticidad	Límite líquido
Arenas	de 0 a 10	de 0 a 30
Limos	de 5 a 25	de 20 a 50
Arcillas	superior a 25	superior a 40

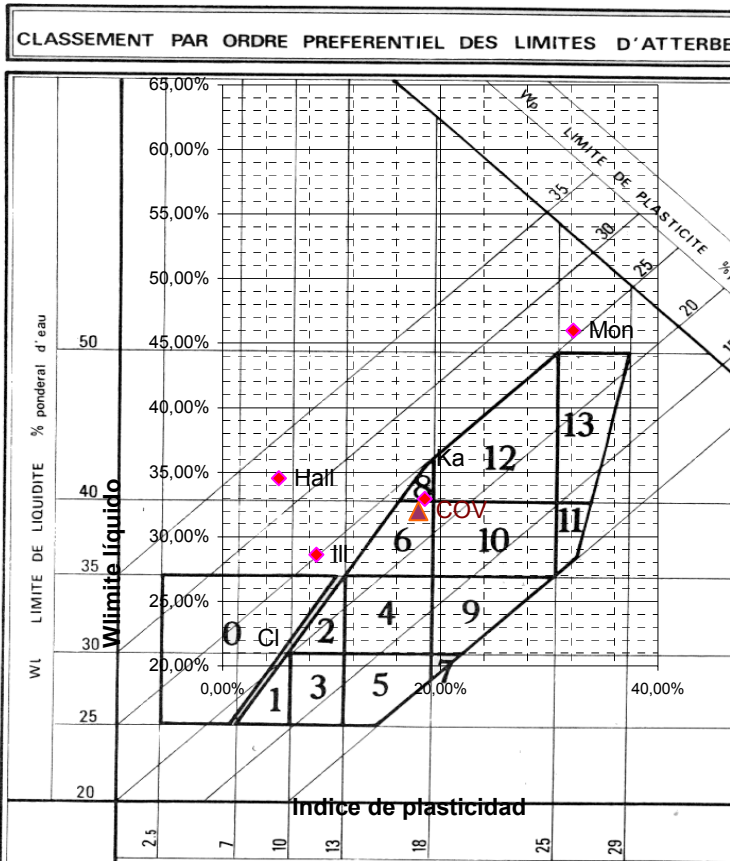
Ésta determinación coincide con el ensayo granulométrico.

	Zonas límite	Zonas preferentes
Índice de plasticidad (Ip)	de 7 a 29	de 7 a 18 de 30 a 35 de 12 a 22 wr < “óptimo de humedad”
Límite líquido (wl)	de 25 a 50	
Límite plástico (wp)	de 10 a 25	
Límite de retracción (wr)	de 8 a 18	

Límite de absorción (wa)	$wa < wr$ $wa < wp$	
--------------------------	------------------------	--

Los índices se encuentran en las zonas preferentes normales.

Para compararlo con los resultados obtenidos con las arcillas puras más arena estandarizada se muestra la muestra COV en la siguiente tabla.



Zona plàstica	Actividad	Grado de estabilización	Estabilizante Según tabla CraTerre
0-1-2-3	Inactivo	Bajo o nulo	Asfalto
1-2-3-4-5-6-7	Inactivo	Bajo o nulo	Cemento
8-9-10	Actividad	Baix o mig	Cemento-Cal

	media		
11-12-13	Activo	Importante	Cal

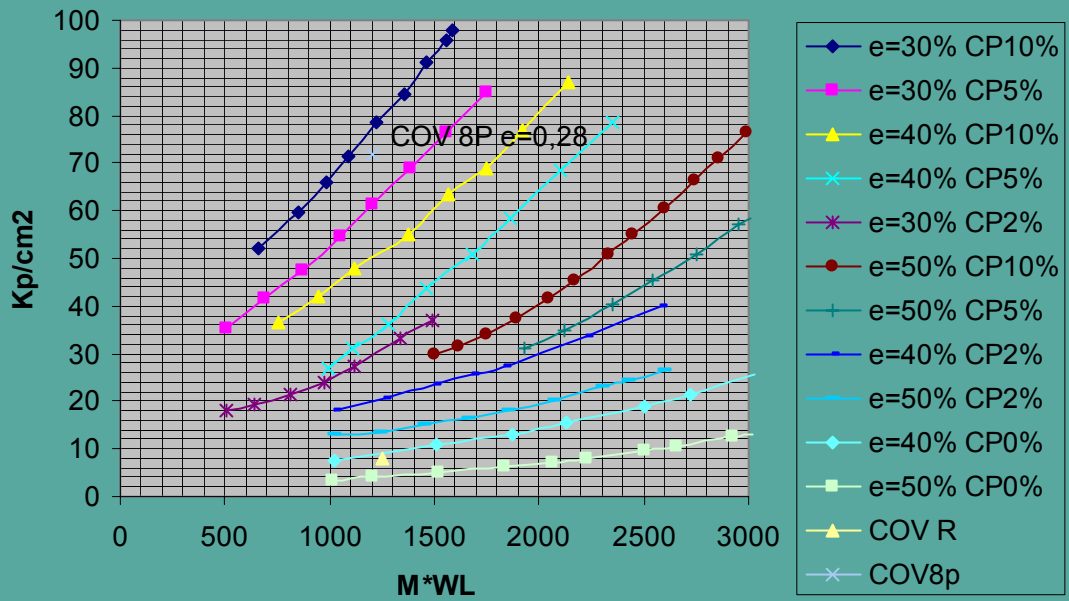
Según esto la estabilización de la muestra COV con cemento sería válida.

Tal como ya se expuso en la crítica de los Antecedentes éste tipo de evaluación es poco fiable y no aporta suficiente información para establecer una estabilización justa y efectiva.

Por ello en esta fase experimental para la consecución de un método eficiente se introduce la utilización de las gráficas de Gresillón*, analizadas y expuestas en el capítulo de crítica de los antecedentes.

En la siguiente tabla se interrelacionan la resistencia, con el índice de poros, la cantidad de finos presente menores de 0.4mm (modulo % M) y el límite líquido de la tierra (Wl)

E.indice. M*WL



El agua: Capilaridad-
 Impermeabilidad-Porosidad-
 Absorción

La facilidad de penetración del agua es un factor directamente proporcional a la durabilidad del BTC, ya que es un canal para desestabilizar las estructuras secas de las arcillas, generar hinchamientos y retracciones diferenciales, liberar cationes, originar ataques por cloruros o carbonatación, generar un ataque ácido de la tierra por los efectos principalmente del CO₂ y del SO₃ ambientales o los procedentes de elementos orgánicos, permitir la intrusión de sales expansivas, facilitar el desgaste por abrasión, disminuir la capacidad de aislamiento térmico, y formar eflorescencias que comprometan la adherencia de acabados.

Permeabilidad y Capilaridad

El Botswana Technology Centre de Gaborone establece un ensayo de impermeabilización a 150Mpa de presión en periodos de diez horas mediante bombeo forzado. Éste se asimilia al Ensayo de permeabilidad de agua bajo presión establecido en la Prenorma internacional [ISO/DIS 7031](#) o [la UNE 83-309-90](#) / RILEM N^oII. El método de ensayo se basa en empresillar una probeta, de altura superior a 100mm y diámetro a 50mm, entre dos placas metálicas con una base de goma, que posee un conducto de entrada de agua a presión constante. Ésta se regula por un manómetro, a presiones que van desde los 100Kpa (1 bar \approx 1atm, 1Kp/cm², 10m columna de agua \approx 14.5 Psi) durante 48 horas, a 700 o 300 Kpa en 24horas. Una vez finalizado este período se evalúa el incremento de masa, y se parte la probeta en dos para medir la penetración mínima y máxima del agua. Éste método, pensado para hormigone, hemos comprobado que sólo sería válido para probetas muy estabilizadas, por el alto grado de penetración del agua en la tierra.

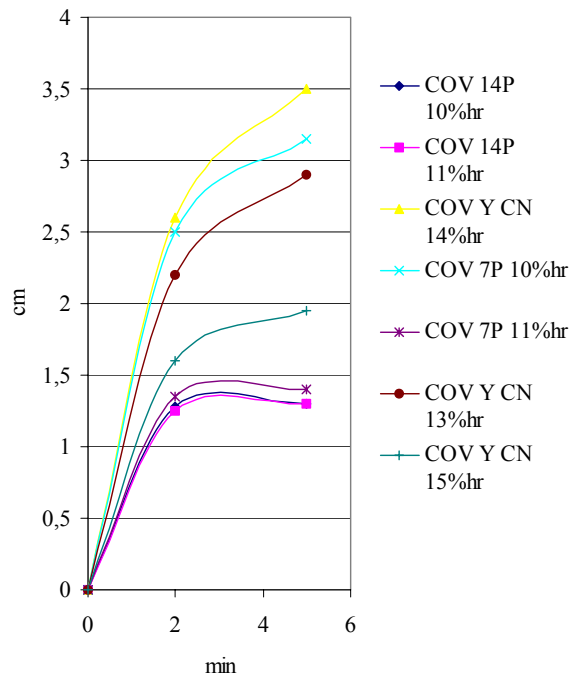
Otra manera de conseguir una presión de agua normalizada es aplicar la UNE 7033. Ésta consiste en pegar con colas epoxídicas una columna vertical de 60cm de vidrio de Ø6mm graduada. que se llena con agua destilada y azul de metileno. La presión hace que el agua penetre poco a poco provocando un flujo medible por la Ley de Darcy. Se miden los tiempos y la cantidad de líquido que ha bajado. La [UNE 7191. DIN 456. Ensayo de permeabilidad de las tejas de arcilla cocida](#)), aconseja que se diferencien los momentos en que sale la mancha, se ve la película brillante de agua, y empieza a gotear, evidentemente siempre en condiciones de laboratorio, ya que sino variarían los factores de evaporación y por tanto el resultado tendría una apreciación diferente.

En todos estos ensayos de permeabilidad resulta complejo obtener una buena estanqueidad de la muestra, debido a sus irregulares, o bien tener adherencia entre la muestra y el tubo.

La permeabilidad también la podemos medir por el ensayo de absorción capilar, aunque aquí la presión efectiva en los poros capilares viene condicionada por su tamaño y por la presión atmosférica. Como referencia se ha seguido la LNEC E-393-1993, en la cual se pesa la muestra y se da la lectura de la altura media de ascensión del agua.

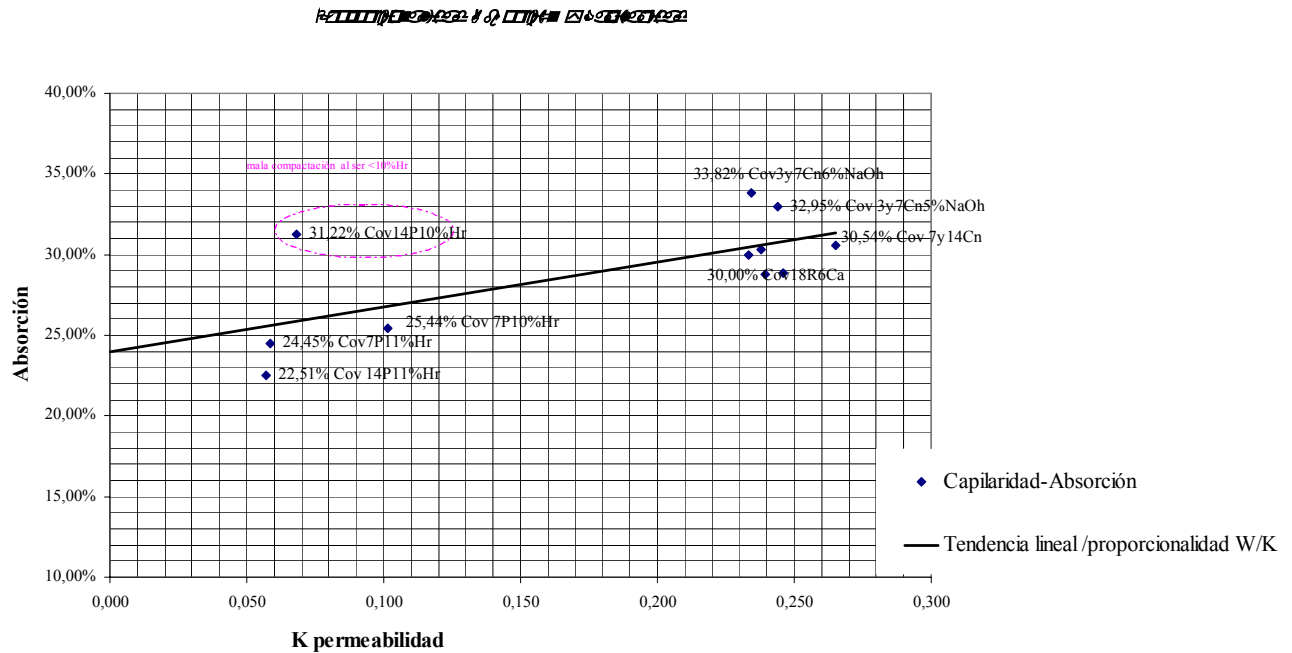
Arquitectónicamente el problema de la capilaridad no debemos abordarlo desde la mejora del bloque sino mediante la creación de una barrera impermeable de materiales bituminosos o plásticos.

En la gráfica de referencia **Gráf. 1** se muestra el ensayo de capilaridad en condiciones de laboratorio, efectuado sobre varias probetas COV. Destaca el menor grado de absorción obtenido en las dos probetas estabilizadas con cemento portland al 14%, a pesar de que las densidades son notablemente diferentes en la COV14P 10%hr $\delta=1.74$ y $W=31.22\%$, teniendo la COV 14P 11%hr una $\delta=1.84$ y una $W=20.43$. Por el contrario para los otros dos tipos de estabilización, uno con la mitad de cemento y el otro con yeso y cemento natural al 7 y 14% respectivamente, las diferencia de agua de fabricación hr% si que altera los resultados del ensayo.



Gráf. 1 Absorción capilar de la serie COV.

Es importante resaltar que los valores alcanzados a los dos minutos determinan la pendiente efectiva de la velocidad capilar. Si se observa la gráfica a partir de ese instante la curva empieza asintóticamente a perder pendiente. Por ello al momento de calcular las velocidades de absorción se tomará como punto de lectura válido los dos minutos de tiempo de absorción capilar.

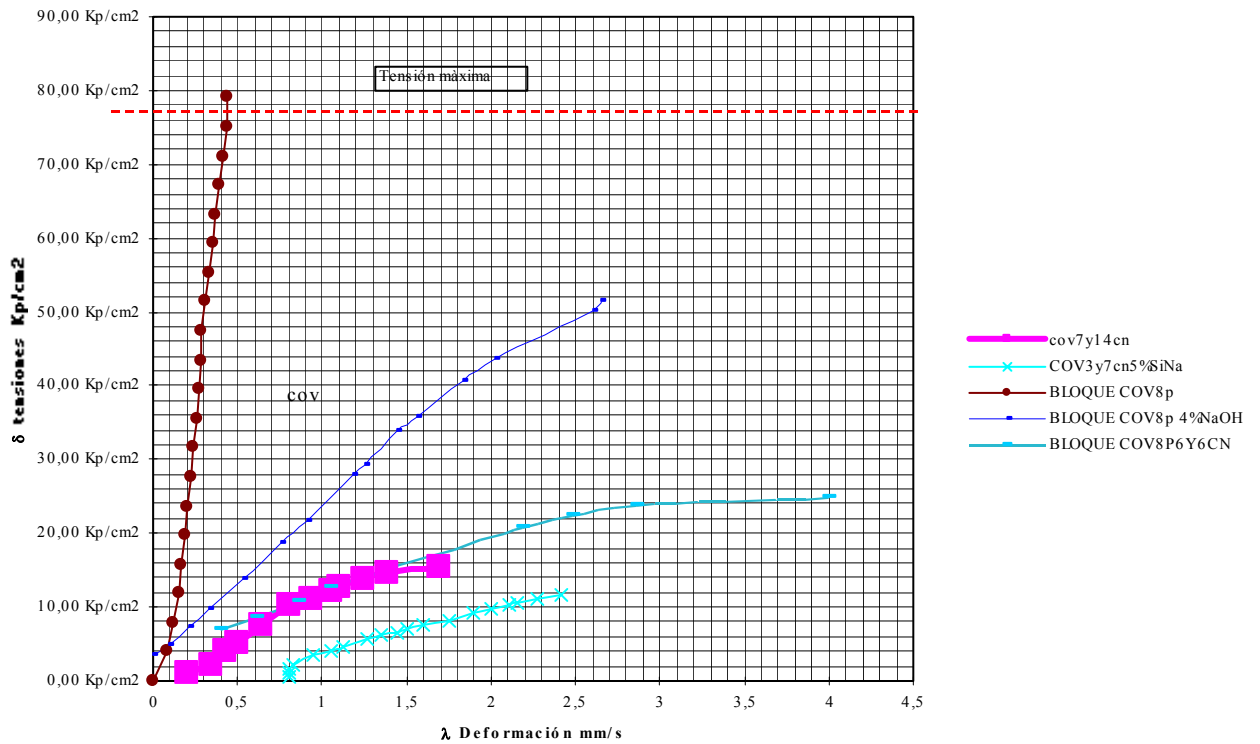
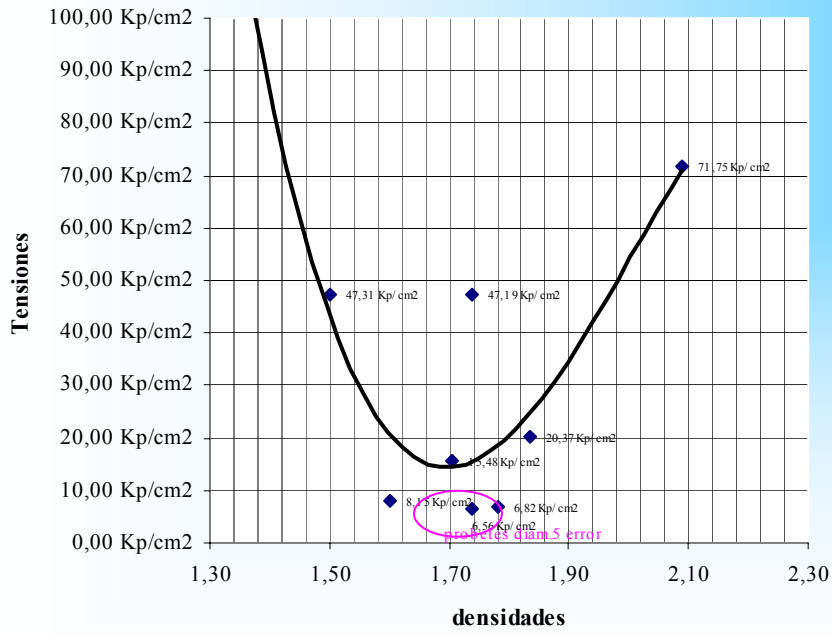


Este apartado se puede completar mediante el Ensayo de transmisibilidad del vapor de agua. **Transpiración** ASTM -E96-80, para valorar esta propiedad ecobioconstructiva de los materiales de construcción. Ello es muy importante desde el punto de vista de la capacidad reguladora, de absorción y de disipación del vapor ambiental y/o de los tóxicos volátiles presentes del aire interior (ozono, gas radón, formaldeídos, lindano, cob, dioxinas).

Resistencias: *Compresión-Cortantes-*
Abrasión

-Resistencia a la compresión

- Para la comprobación de la resistencia a compresión, se fabrican por lo menos 4 probetas cúbicas de 70 m/m. con barro de plasticidad normalizada.
- Se retira inmediatamente el encofrado y la muestra se seca a 20°C en un lugar sin aire corriente y con sombra, sobre una parrilla.
- Después del 5º día puede acelerarse el proceso de secado, hasta una temperatura máxima de 80°C.
- En cuanto se compruebe en cubos fabricados complementariamente, que el núcleo está seco, se alisan las superficies paralelas expuestas a la compresión.
- La compresión se realiza en la dirección de llenado y el valor de la resistencia a compresión será el valor medio de tres ensayos en el valor de la sección calculable de 30 cm³.



Resistencia a la Abrasión.

Se efectuó un ensayo de Abrasión húmeda dinámica sobre los BTC de muestra. El método adoptado fue el utilizado por el IET³⁴ de goteo de agua desionizada, desde una altura determinada sobre la muestra, en el interior de un recipiente.

Este procedimiento de laboratorio se desestima para BTC, ya que tras 48 horas de goteo, los bloques estabilizados no ofrecían ningún tipo de pérdida de masa o desgaste superficial.

ASTM C241-85. Ensayo a la Abrasión.

ASTM -131-1967

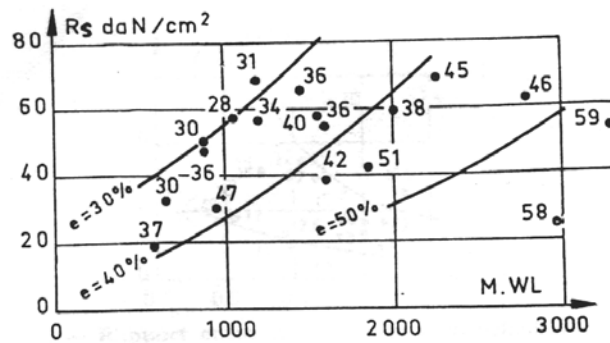
ASTM -535-1965

UNE 83-116-90

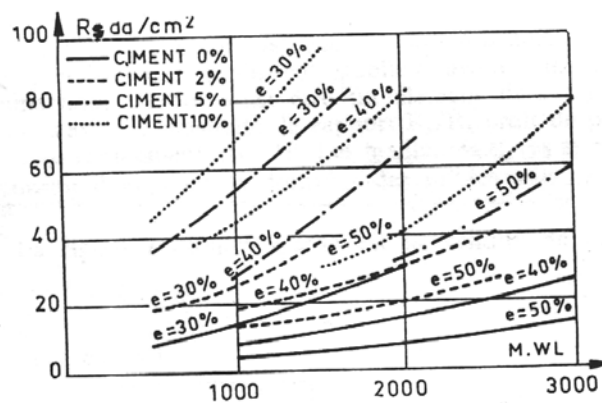
LNEC E 237. Norma portuguesa de determinación de la resistencia a la abrasión a través del ensayo de la máquina de los Angeles. Se coloca una porción de 5000grs> 1.68mm, de muestra, en un cilindro, con 11 esferas de acero, que efectua 500 rotaciones de 30 a 33rpm. Al terminar se criba, y se mide el retenido por el de 16.8mm.

Parámetro	bajo	medio	alto	muy alto
WL (Límite líquido)	< 30	30-40	40-60	>60
IP (Índice de plasticidad)	0-15	10-35	20-55	>45
WS (Índice de retracción)	>15	16-10	12-7	<11
% < 0.074 mm. T200	<30	30-60	60-90	>90
% < 1nanómetro	<15	13-23	23-30	>30
Índice PVC. Ensayo Lambe	<2	2-4	4-6	>6
Índice de desecación	>1	0.8-1	0.6-0.8	<0.6
Presión de hinchamiento Kpa	<30	30-120	120-250	>250
% Hinchamiento libre	<1	1-5	3-10	>10
Nº de golpes S.PT	<10	10-20	20-30	>30

³⁴ Primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción, en el IETcc. Aut. Juan Díaz Romeral. Instituto Eduardo torroja-CSIC. Informes de la Construcción Vol37 n°377 Enero Febrero 1986.



— Résistance des échantillons secs contenant 5 % de ciment en fonction de M.W.L. (les indices des vides sont indiqués près de chaque point).



— Résistance des échantillons secs en fonction de M.W.L. pour différents teneurs en ciment et différents indices des vides.

Para la elección de los morteros de agarre se ha utilizado la ASTM C 307-83. Ensayo de **Adherencia**, en el cual se determina a una humedad relativa del 40%.

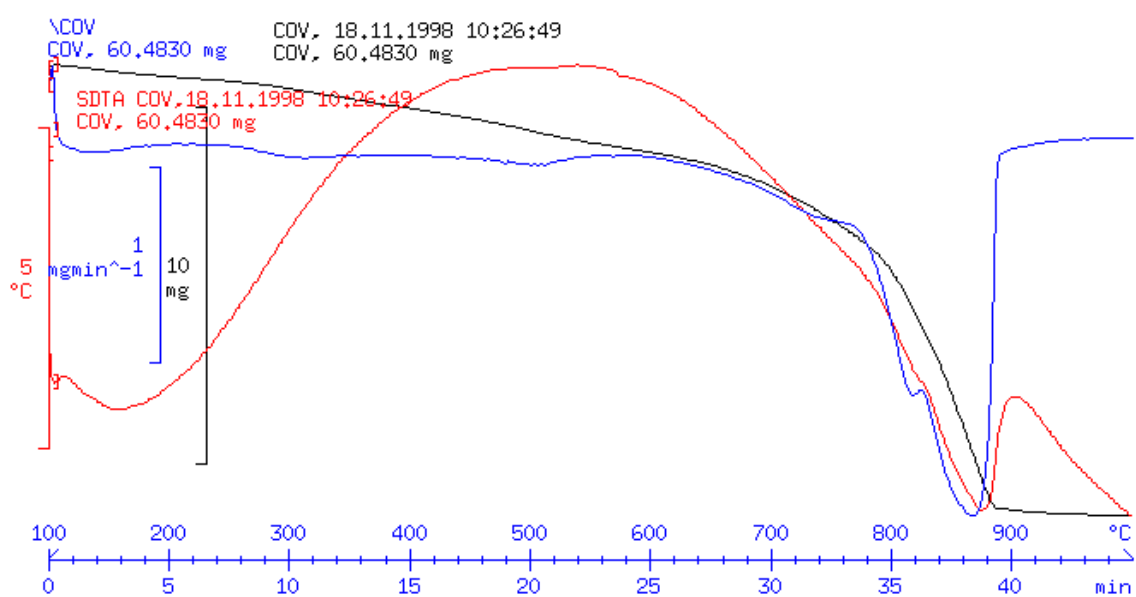
ATD/ATG TERMOGRAVIMETRIA

La analítica por Análisis térmico Diferencial de las diferentes dosificaciones de tierra estabilizada, se han realizado sobre muestra de la fracción fina inalterada, obtenida a partir de un proceso de decantación y secado a 24 horas $<60^{\circ}\text{C}$, hasta conseguir peso constante.

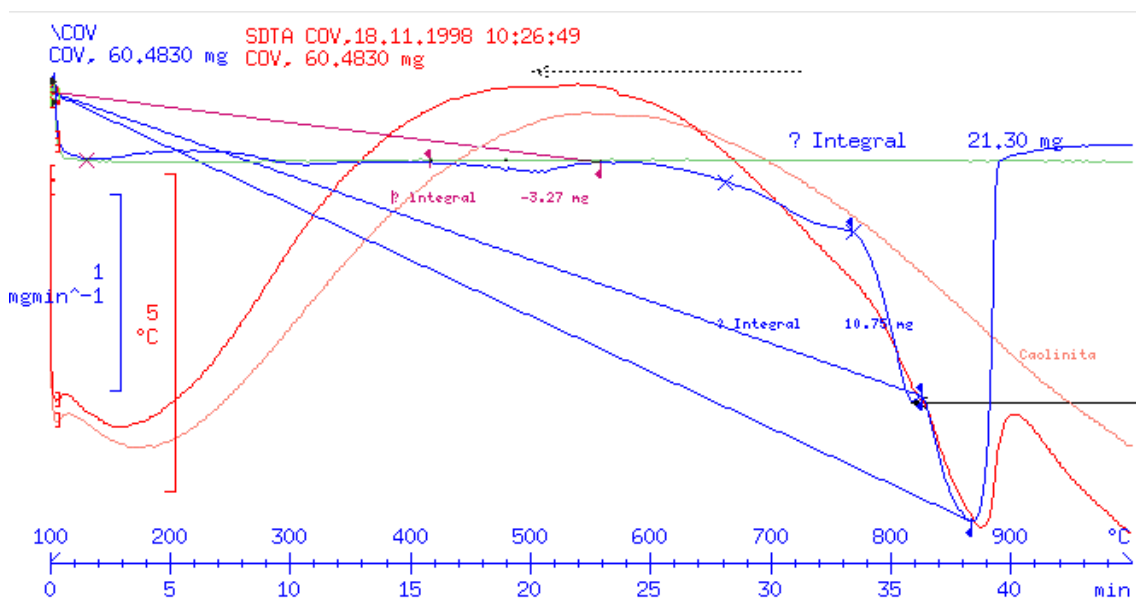
En una segunda fase se han repetido los análisis, debido al alto contenido de CaCO_3 , lo cual como se demuestra enmascaba los picos endotérmicos correspondientes a otros componentes de la tierra. Al mismo tiempo, para obtener una mayor precisión en la detección de algunos picos se ha disminuído la velocidad por cuatro, utilizando un óptimo de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

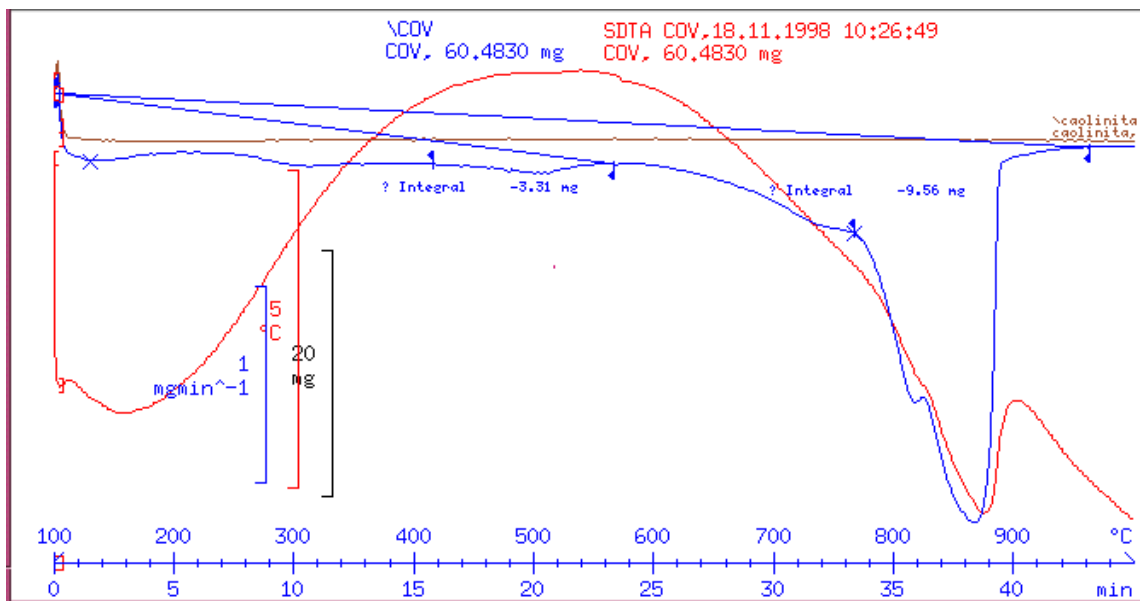
El aparato utilizado es un Mettler 8 (ver ningún..), que funciona através de nitrógeno líquido, interconectado a un ordenador, programado en hardware sistema UNIX, lo cual ha permitido obtener resultados de gran precisión. El mismo programa permite obtener las derivadas y las integrales respecto al tiempo, lo cual registra el peso perdido en cada proceso de cambio físico-químico de la tierra.

La muestra de sólo unos pocos miligramos se colocó en cápsula estandar de aluminio, la cual se utiliza frecuentemente para la calibración del aparato.



La función integral en color azul escalada en mgmin^{-1} es la que muestra con mayor detalle los picos de cambio. En el Análisis Térmico diferencial, termogravimétrico e integral de la muestra COV (tierra origen sin tratamiento y estabilización) destaca el pico del Carbonato cálcico a 875°C y un subpico a los 810°C que podría corresponderse a algunas arcillas, preferentemente Saponita o Montmorillonita, probablemente la primera al también haberse detectado por análisis químico un contenido alto de Mg^{++} 9.9%.





En los siguientes gráficos se muestran los ATD de las diferentes las muestras $<70\mu$ de la tierra COV, estabilizada y sin estabilizar, con un pretratamiento con HCl para la eliminación de carbonatos. Obsérvese como desaparecen todos los picos situados alrededor de los $750-900^\circ$, lo cual permite ver con mayor claridad los picos dobles endo-exo de la caolinita a los 975° y de la Saponita a los 179° , aunque el pico de la caolinita de los 500° era más visible antes del tratamiento ácido, ya que el pico de los 450° toma bastante fuerza. Éste corresponde a la Sepiolita/Paligorskita (400°) conjuntamente con bateritas $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

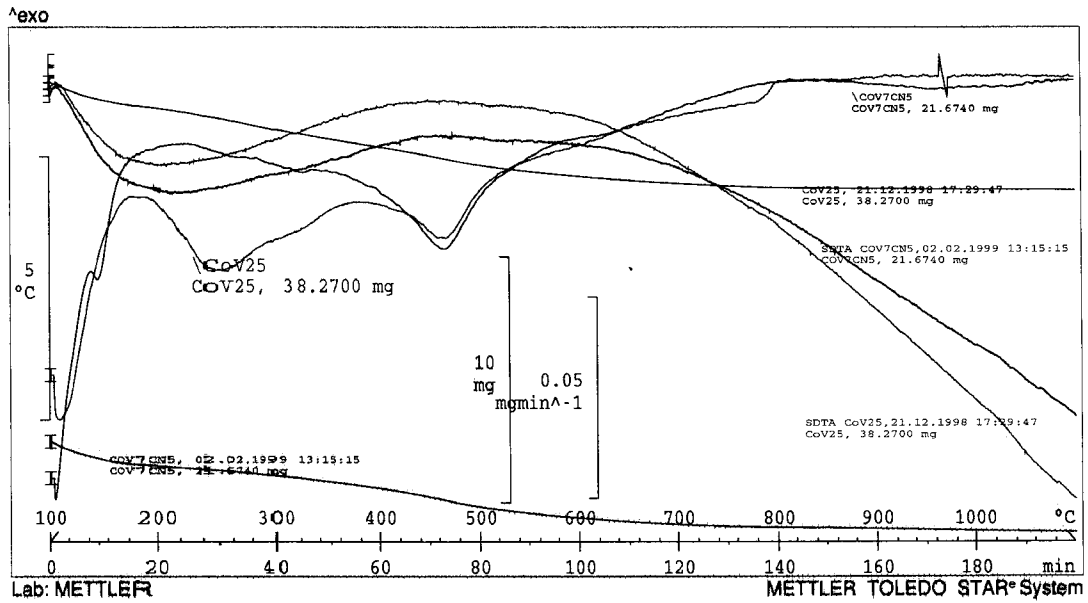
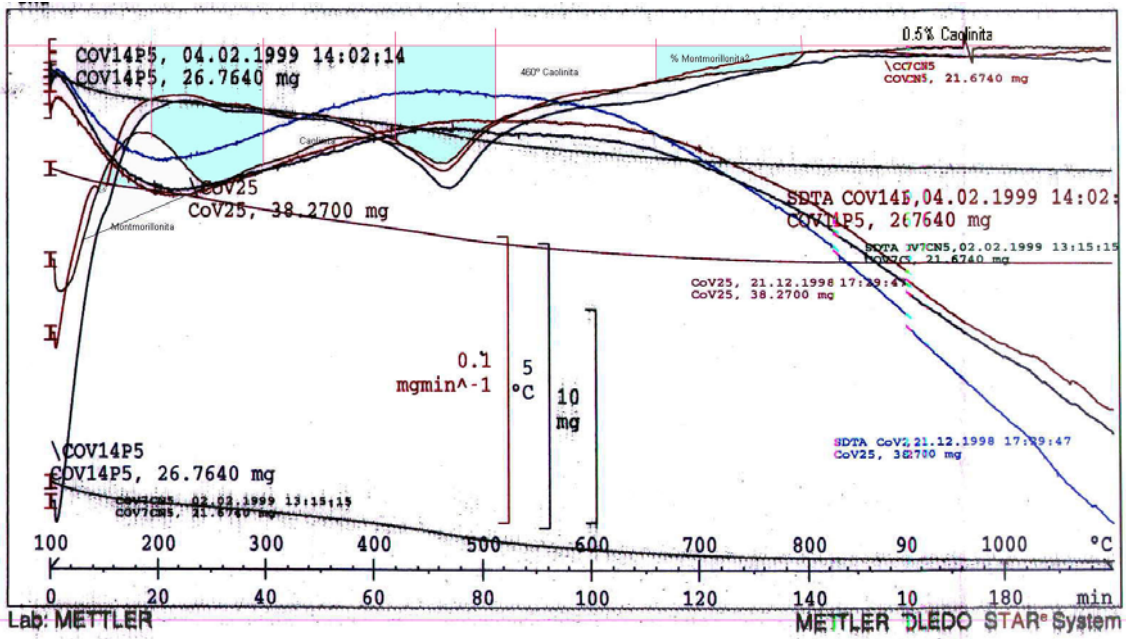
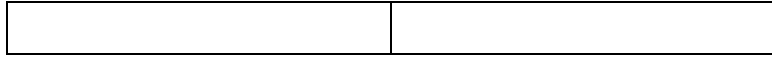
En las muestras estabilizadas con cemento portland (muestra COV 14P) y cemento natural (COV 7Y14Cn), el pico endotérmico correspondiente a la portlandita, a los 460° se incrementa, en los 160° aparece uno ligero, correspondiente a los aluminatos y sulfoaluminatos, e igualmente ocurre en los 650° , derivado de las fases SCH. Por el contrario desaparecen los picos correspondientes a las temperaturas de 230° , $775^\circ/780^\circ$, y el endo-exo de la caolinita de los 975° .

Cómo conclusión sobre la efectividad de las estabilizaciones podemos decir que el cemento natural tiene una menor reactividad ante la caolinita que el cemento portland.

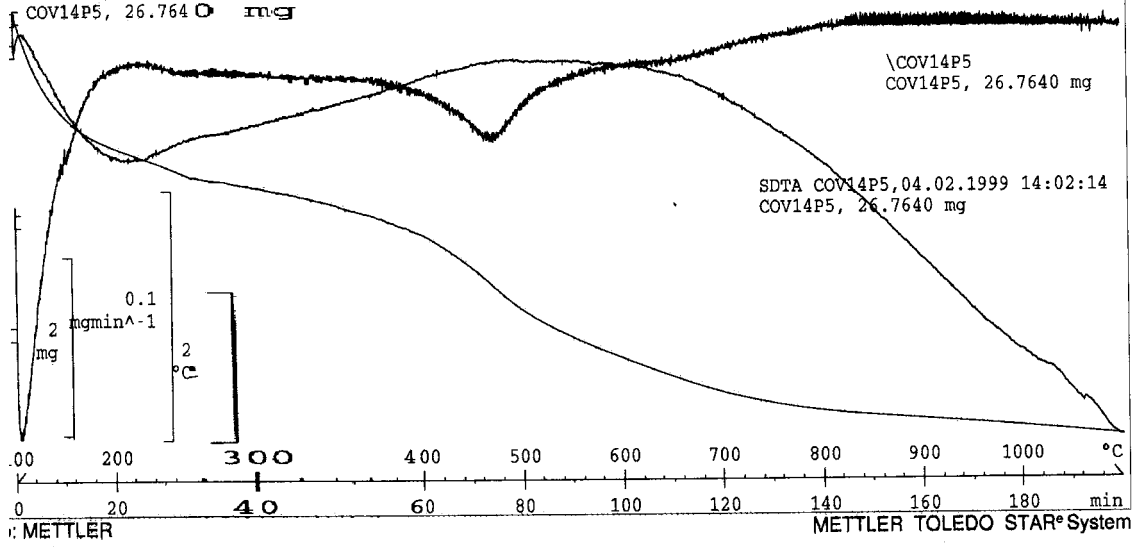
La determinación cuantitativa se ha hecho por integración de la función ATG, expresada en mgmin^{-1} . El valor en gramos de la pérdida de masa se corresponde con las áreas grafiadas en azul.

Con el conocimiento a priori de las Arcillas Puras, comparando perdidas podemos deducir la siguiente composición de la muestra COV:

MUESTRA COV.	PORCENTAJE
COMPONENTES POR ATG	COMPOSICIÓN
CAOLINITA	17.8%
MONTMORILLONITA	18.2%
CARBONATO CÁLCICO	20.8%
BATERITAS +SEPIOLITA	10%
SAPONITA	6.5%



COV14P5, 04.02.1999 14:02:14
COV14P5, 26.7640 mg



Determinación del contenido de Arcillas (Caolinitas, Montmorillonitas, Illitas, Cloritas, Vermiculitas,...pH y Dureza

M.e.q Capacidad de cambio catiónico

Composición química

Para la evaluación del contenido de sílice soluble activa de las tierras estabilizadas con cemento portland al 14%, cabe considerar que en éste representa un 2.59% del peso total.

Para su evaluación debe considerarse también, que las fases SCH del cemento son solubles en ácido clorhídrico y en ácidos débiles como el acético.

Para la evaluación de los carbonatos se ha empleado el método del [calcímetro de Bernard](#), obteniendo el % a partir de la siguiente fórmula : $\% \text{Co}_3\text{Ca} = 0,39 \times \text{Volumen calcímetro} / \text{peso muestra}$

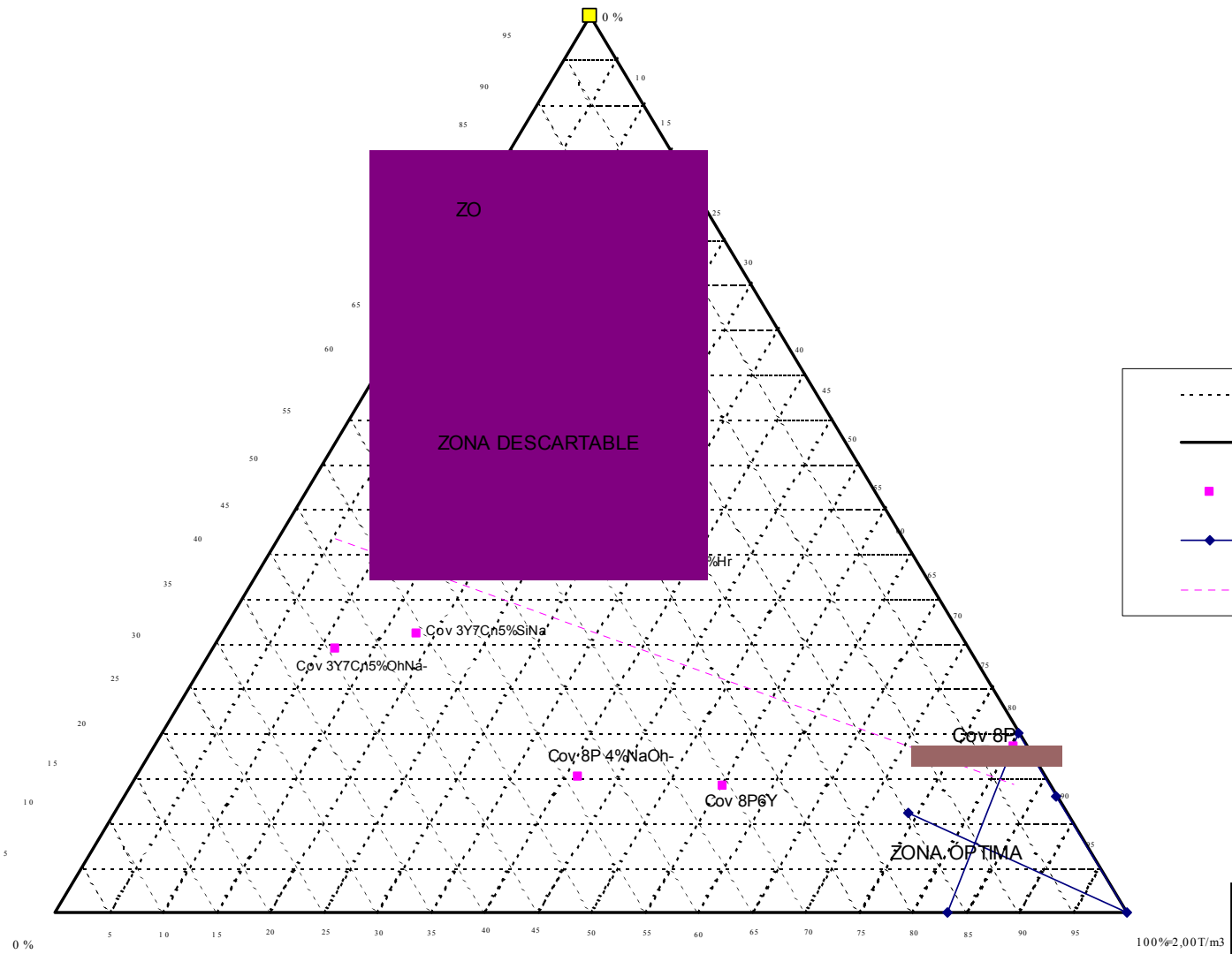
Minoritarios.Absorción atómica: sulfatos SO_3^- , nitratos, Materia orgánica, cloruros Cl^- , Fe_2O_3 , TiO_2 , Cationes de cambio (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+})

Para valorar el contenido de cloruros se ha utilizado 10cm³ de dilución con 20 gotas de cromato de potasa, en un erlenmeyer pequeño. Se valora la cantidad de nitrato de plata para que la dilución alcance un color amarillo.

n° Muestra				Residu SO3.							
											SE TOMAN POR OPERATIVOS LOS DATOS A LA IZQUIERDA
M.P probeta experimental.											Fotometria de flama.
El número determina la cantidad de estabilizante utilizado				segons Assaigs. Lab. Oficiais. Norma. Americana AOAC.							
La letras definen los estabilizantes según:				mg/Kgr a partir de 5gr/100ml. ph.7 acetato amónico. y/o 5grs (negrita) con ataque CIH 10%							
P= Cemento portland C= Cal Y=Y solub.1/2,5 solub 1/5				SO4 por absorción atómica aunque da mayor variabilidad de los resultados. Caro y largo							
n°	PH	Conductividad	Sales solub.	r.so3x1,2	NO3-	CI-	Mg++	Na+	K+	Ca++	Ca++
No. ASTM D.4972-89 Cl2Ca			mgr/ml	max.Formigó H-200 8000mgr/Kgr.			0,7%es bueno	bajo	bajo		15%bueno
			EHE-99 <0,05%	Agua <1000mgr/Kgr	Spectrophotometer Hach Dr/200						en rojo valores
COV	9,60	197	97,08	1440	5,00	35,5	99528	1473,7	3809	1172,11	117.211
COV7p10%HR			0,00	8620	5,00	35,5	22918	772,88	2484,2	1920,73	192.073
COV7p11%HR			0,00	8620	5,00	35,5	22918	772,88	2484,2	1920,73	192.073
COV 14P10%hr			0,00	14240	5,00	35,5	9872	831,04	2573,87	1847,09	184.709
COV14p 11%hr			0,00	14240	5,00	35,5	9872	831,04	2573,87	1847,09	184.709
COV7y14Cn			0,00	97660	5,00	35,5	6940	1915,99	2671	1255,25	125.525
COV7y14Cn 13%hr			0,00	97660	5,00	35,5	6940	1915,99	2671	1255,25	125.525
COV7y14Cn 14%hr			0,00	no ha formado sulfoaluminatos	5,00	35,5				0,00	
COV7y14Cn 15%hr			0,00	no ha formado sulfoaluminatos	5,00	35,5				0,00	
COV3y7Cn+2%SiNa			0,00	no ha formado sulfoaluminatos	5,00	35,5				0,00	
COV R2			0,00	97660	5,00	35,5	6940	1915,99	2671	1255,25	125.525
COV R1			0,00	14240	5,00	35,5	9872	831,04	2573,87	1847,09	184.709
COV R3			0,00	no ha formado	5,00	35,5				0,00	

Cov 8P

Absorción %
100%



Densidades

Tensión

Análisis experimental de las tierras tradicionales del Grupo II

Caracterización físico-química de otras tierras del Grupo II.

A continuación se presenta de forma resumida la caracterización de los principales parámetros físico-químicos de otras probetas de tierra estabilizada procedentes de los proyectos descritos

Para ello se han utilizado los métodos anteriormente descritos para las muestras AU –

n° Muestra	localización	Descripción de la zona geológica
	Nota.Datos geológicos	del período y de la facies.
.P probeta experimental.		
n°	L	
GIR	CREU DE PALAU<2mm	Arcosas lutitas y conglomerados. Plioceno
BES	BESCANO<2mm	Arcosas lutitas y conglomerados Plioceno/pelitas, greses y grauvacas.Infraca
GIR8p	CREU DE PALAU<2mm	Estabilización con 8% de Cemento Portland
BES8p	BESCANO<2mm	Estabilización con 8% de Cemento Portland
SF	SANT FELIU	Granitos leucocráticos
SF7p	SANT FELIU	Granitos leucocráticos
SF14p	SANT FELIU	Granitos leucocráticos
SF14p50F	SANT FELIU	Granitos leucocráticos
MAD	BATRES.MADRID	Arcosasa y Lutitas del Mioceno
MAD8P	BATRES.MADRID	Estabilización con 8% de Cemento Portland
T	Tomelloso	Terciarios del Plioceno. Cuenca calcárea
T 8p4Ca	Tomelloso	Estabilización con 8% de Cemento Portland y 4% de cal
LL	CALELLA	Granitos leucocráticos.Tonalitas biotíticas-hornbléndicas
STA	STA.COLOMA<2mm	Lutitas,arcosas, conglomerados y gravas cuaternarias.(Plioceno-Pleistoceno)
STJ	ST.JORDI DESVALLS<2mm	Lutitas rojas, gres, margas con yesos Mioceno Superior.
CST	CASTELL D'ARO<2mm	Leucogranitos y Granodioritas biotíticas
CST8p	CASTELL D'ARO<2mm	Estabilización con 8% de Cemento Portland
STA8p	STA.COLOMA<2mm	Estabilización con 8% de Cemento Portland
STJ8p	ST.JORDI DESVALLS<2mm	
A	LLiber.Alicante	Calcareo. Cretácico superior.
A8Ca	LLiber.Alicante<2mm	Estabilización con 8% de cal
PA	Palencia.Astudillo	20%PAJA+20%ARENA
PA4p4Ca	Palencia.Astudillo	Materiales Cuaternarios y del mioceno.
COV	COVACHUELAS	Mioceno.M-3 de cuenca calcarea del cretácico superior y posibles sedimentos
R	RAJADELL	Lutitas Rojas. Oligoceno. Del Paleógeno
TAG	TAGAMANENT. MONTSENY	Lutitas Rojas. Facies Buntsandstein. Escitiano. Del Triásico
SC	STES.CREUS	Lutitas Rojas. Facies Muschelkalk medio.Anisiano superior-Ladiniano inferior
SC8cA	STES.CREUS	Estabilizada con cal al 8%
SC8P	STES.CREUS<2mm	Estabilizada con cemento portland al 8%
P10P40A	PARETS	Estabilización con 10% de Cemento Portland y 40% de Arlita
P10P20A	PARETS<2mm	Estabilización con 10% de Cemento Portland y 20% de Arlita
P10P	PARETS	Estabilización con 10% cemento portland
P	PARETS<2mm	Lutitas y Gres del Vallés. Mioceno Medio. Neógeno
M	MONTMELO<2mm	Lutitas y Gres del Vallés. Mioceno Medio. Neógeno
M	MONTMELO<0,080mm	Sedimentos de Granodioritas Biotíticas.
M4P4Ca	MONTMELO<2mm	Estabilización con 4% de cal y Cemento Portland
M8P	MONTMELO<2mm	Estabilización con 8% de Cemento Portland
M8P	MONTMELO<0,080mm	Estabilización con 8% de Cemento Portland
CC10p20s	CAN CERDA<2mm	Estabilización con 10% de Cemento Portland y 20% de corcho triturado
CC8-10p	C.CERDA<2mm	Estabilización con 8-10% de Cemento Portland
CC10p	C.CERDA<0,080mm	Arcillas provenientes de materiales del Silúrico y el Cámbrico.
CC10y	C.CERDA	Pizarras Ampelíticas/Pelitas.greses y grauvacas
CC	C.Cerdà	Caolinitas-Ilitas-Montmorillonitas arcillas 80% 0,35-1 μ
C	CORBERA<2mm	Argilitas. arcillas 80% 2-4 μ
C8P	CORBERA<2mm	Arcillas provenientes de materiales del Silúrico y el Cámbrico.
C8P	CORBERA<0,080mm	Pizarras Ampelíticas/Pelitas.greses y grauvacas

Arcillas versicolores terciarias. MUESTRA R -TAG-SC



En éste grupo se integran muestras de tres proyectos reales con BTC, ubicados en Rajadell (R)Manresa, el Tagamanent (TAG) y en Santes Creus (SC).

La tierra base presenta unas características organolépticas idénticas color rojo violáceo, finura del polvo, mal drenaje, gran retracción lineal.

El análisis químico determina una abundante presencia de carbonatos, y cationes de Calcio y Magnesio, a excepción de la muestra TAG, lo cual ya era previsible por el origen terciario de la facies geológica. En



algunos estudios, ya citados, se describía la presencia de Montmorillonita, paligorskita, sepiolita y evaporitas en este tipo de tierra. Mediante el análisis ATD, puntualizado pico por pico en la página siguiente, se verifica la presencia simultánea de Montmorillonita, caolinita y carbonatos, sin descartar la presencia de la variante isomórfica de la Hectorita.

El reconocimiento organoléptico también verifica la presencia de montmorillonita por la formación al secar en encharcamientos de hojas alabeadas de arcilla. No obstante por los cálculos efectuados mediante la comparación con las arcillas puras, se detecta una presencia de Montmorillonita de un 21%

respecto a la fracción fina 60μ. La caolinita puede estar alrededor del 60-70% ya que el pico se encuentra alterado por la misma montmorillonita, y también según la cantidad de carbonatos presentes.



Es de gran importancia la comparación de los resultados ATD/ATG (ver gráficos en Tomo III anexos) analizados de la muestra SC8p ya estabilizada. La desaparición del pico correspondiente a a caolinita, la disminución de las temperaturas de cambio, y la detección de las fases de sulfoaluminatos y de las vateritas, demuestra como las arcillas

se recristalizan en presencia de cemento portland, para crear uniones más fuertes y durables.

En referència a los sistemas de estabilización empleados hay que destacar:

El cemento portland mostraba el mejor comportamiento ante las retracciones, tal como se observa en el ensayo de retracción, en la probeta superior. La central es la estabilizada con cal y la inferior sin estabilización.



La cal no mejoraba ninguna de las propiedades resistentes, posiblemente debido al ya excesivo grado presente de OCa, a pesar de que se le añadieran cenizas volantes provenientes de la central térmica de Cercs. En el proyecto de Santes Creus Altech de Francia estipuló al cliente una estabilización con cal y áridos, el resultado fue paupérrimo tal como demuestra la baja resistencia obtenida en la muestra SC7Ca14Zn.

Resultados a compresión obtenidos de muestras reales y microprobetas:

SC7Ca14zn	STES.CREUS BTC	6,68 Kp/cm ²
SC7p	STES.CREUS	68,20±1,93 Kp/cm ²
SC7p	STES.CREUS	68,20±1,93 Kp/cm ²
SC14p	STES.CREUS	121,00±11,6 Kp/cm ²
Tag 12p	Tagamanent. BTC	30,56 Kp/cm ²
R7p	RAJADELL	116±6,4
R14p	RAJADELL	187±13,9
R14p probeta método	RAJADELL	46,14 Kp/cm ²
R7p+7Ca+14Zn	RAJADELL BTC	27,22 Kp/cm ²

Interpretación de Resultados Análisis Químicos del Grupo II.

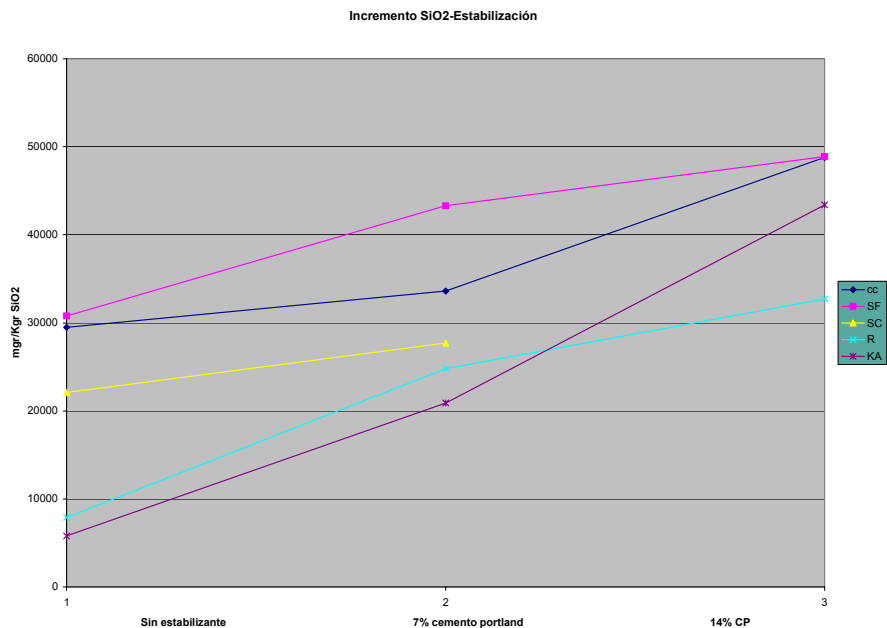
La totalidad de los resultados se muestran en los Anexos.

Se ha determinado el gráfico ternario de los componentes químicos básicos ($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3/\text{CaO}$), y se ha interrelacionado con los resultados del Grupo I de arcillas básicas, que se muestra en la página siguiente. De ello se deduce:

La posición en el gráfico ternario de las respectivas muestras, no guardan relación con la gráfica de las arcillas que las componen.

En tierras calcáreas como en COV-R-, el exceso de CaO , genera una gráfica muy desplazada a la esquina inferior.

El aumento de estabilizante no provoca un acercamiento del punto de composición ternaria hacia el punto correspondiente en el cemento, tal como nos ocurría en las arcillas del Grupo I.



El incremento de cemento portland genera un incremento de la sílice soluble, pero no por igual. En el caso de las muestra R y SC, con una composición muy similar, hay un incremento mucho mayor en la primera debido a la mayor finura de su granulometría.

En tierras como la CC con presencia de cloritas la estabilización al 7% de Cemento no es tan efectiva como al 14%. Por el contrario en SC y en R, el duplicar el estabilizante ya no comporta incrementar en el mismo grado el porcentaje de sílice libre para la neoformación de silicatos cálcicos.

Finalmente se decide que la gráfica no nos ofrece información práctica para establecer el sistema de estabilización a emplear o conocer más de la durabilidad de las probetas de BTC.

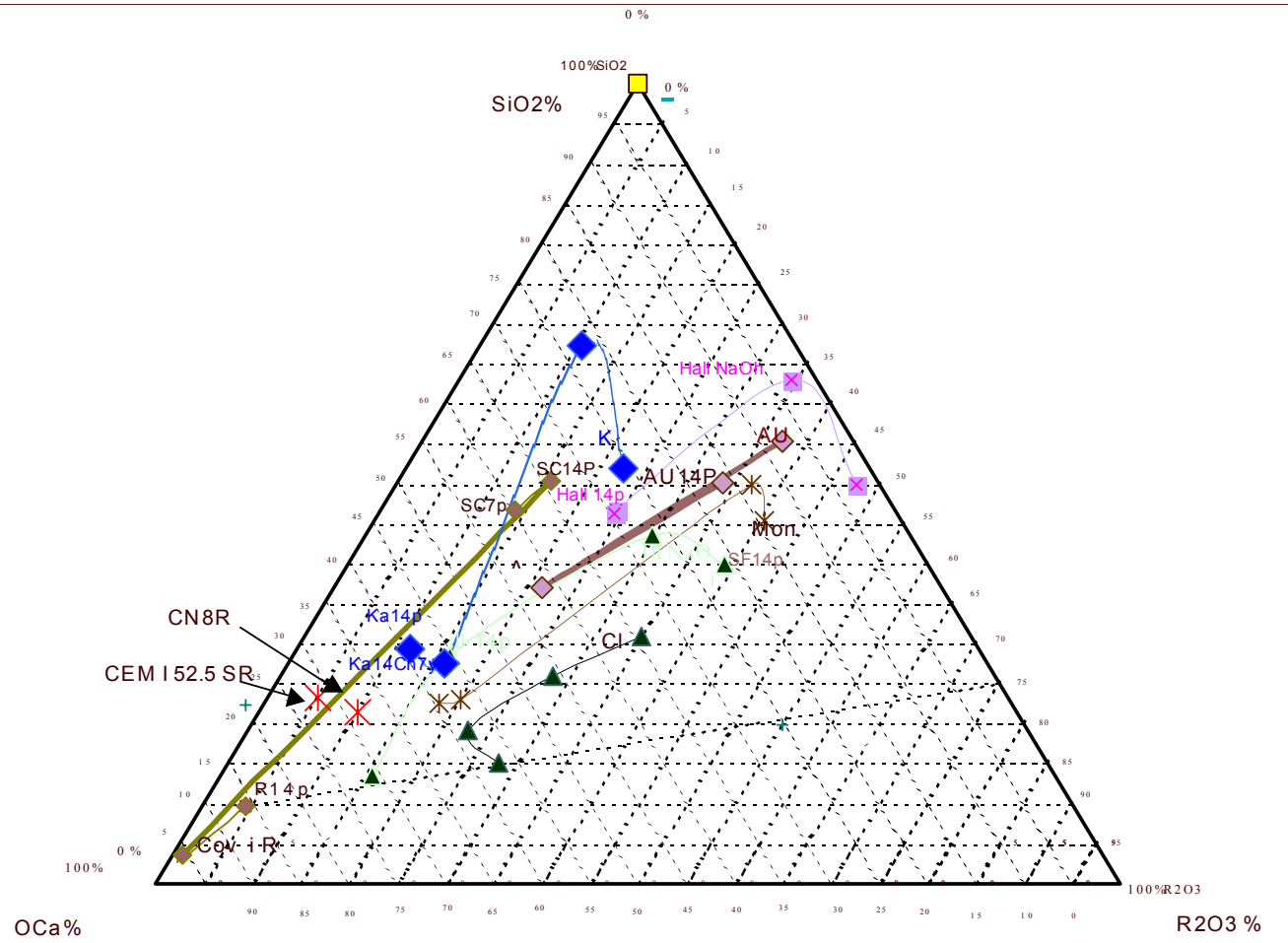


Gráfico 5 Ternario principales componentes químicos de las Tierras del Grupo II en comparación a las arcillas puras.

Se presenta cada tierra mediante una ficha característica, donde se determinan las principales características físico-químicas, y los métodos utilizados en cada caso.