

Método análisis

MUESTRA MÉTODO

Análisis Arquitectónico

Descripción breve proyecto y entorno geográfico.

Descripción del proyecto

Proyecto donde se aplica de nuevo la Tierra como material de construcción con criterios de ecobioconstrucción sostenible.

Volumen excavación.

Morfologías y soluciones arquitectónicas derivadas

Tipos de elemento constructivo donde se empleará y mediciones.

Principalmente se utiliza el material tierra en forma de BTC, efectuado en la prensa....., aunque también se utiliza en los morteros bastardos. Los bloques están colocados en la planta....., en aparejo de sogas y tizones de.... cms de grosor. El bloque estabilizado queda visto o no al exterior debido a su resistencia.

Localización geográfica

Descripción de la fuerza de extracción de la tierra y de los factores geoclimáticos:
Tipo de solar; taludes; drenajes naturales y riesgo de inundación; formación de charcos

Arquitectura popular local

Previamente a la toma de decisiones técnicas, sobre el proyecto de tierra, es necesario un análisis de las tecnologías y recursos autóctonos de la zona, para conocer la experiencia y sabiduría popular existentes sobre los materiales térreos. Con ello podemos trazar un tipo de acción local más apropiada a los recursos autóctonos, al medio ambiente y a los valores socioculturales existentes, siempre en sintonía con el pensamiento globalizador del desarrollo sostenible.

Es imprescindible que el técnico efectúe varias visitas por la zona

-Localización de las diferentes construcciones

-Identificación visual de la calidad alcanzada en las construcciones con los materiales térreos autóctonos.

-Descripción de los métodos populares de preparación,.

Además la tierra puede ser 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.

- Presencia de industria cerámica, la cual utiliza arcillas ricas en illitas y/o caolines.

Posibles estabilizantes disponibles autóctonos Grado de disponibilidad y coste.

Tradicionalmente en esta zona se utilizaba el adobe estabilizado con....

“Tierra del barrero, cribada, sin impurezas; paja de trillar, ni muy gruesa ni muy fina; yagua...

En referencia a las estabilizaciones físico-químicas en la zona no/si se dispone de materiales con actividad puzolánica, cenizas volantes o de cáscara de arroz polvo de ladrillo, e inclusive la oal no/si es una material habitual. En este análisis de disponibilidad, parece que el cemento portland es o no el que brinda menores problemas.

También, debido a la proximidad se dispone o no 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 o no 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 núcleos 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 output 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..... con prensa manual Geo 50, transportada desde otra obra alejada a.....kms, 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 energia de..... Mj por cada bloque aproximadamente, lo cual representa una repercusión energética por Kg de material de..... 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 apilonado 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.

ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

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

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

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

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

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

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**

TRACTAMENTS

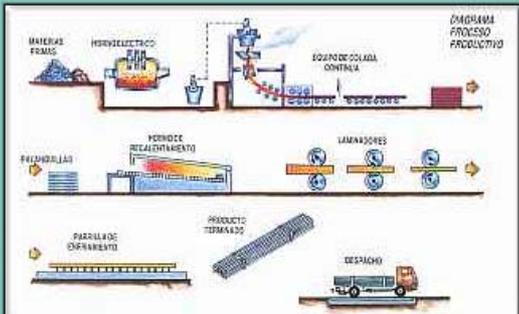
MAQUINES

| 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.**



1.1694 **CÀLCUL FABRICACIÓ** MJ / Kg



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

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 la 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.

ANÀLISIS d'ASPECTES ECOBIOLÒGICS dels MATERIALS

El futuro de nuestro planeta está en la balanza... podrá equilibrarse o no

PRESENTACIO
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 cobustible. | 0.84 kg/l |
| Velocitat mitja | 10 km/h |
| Distancia Recorreguda | 1 km |
| Factor d'Emissió de CO ₂ | 2.094 |
| Factor d'Emissió de SO ₂ | 0.0039 |
| Factor d'Emissió de NO _x | 0.0014 |

| | |
|---------------------|----------------------------|
| Consum combustibile | 0.3238 l/h |
| Consum mitg efectiu | 0.0031 km/l |
| Volum d'Emissions | 67.5484 Kg CO ₂ |
| | 1.2581 Kg SO ₂ |
| | 0.4516 Kg NO _x |






Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior



Generalitat de Catalunya
El Medi Ambient

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 Apropiado 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 |

Valoración y comparación con otros materiales

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>MATERIALES</i> | <i>energía 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 |

Caracterización de las arcillas básicas presentes en la fracción sedimentométrica.

Las principales especies minerales arcillosas presentes seran :

Caolinita. Características físicas: Tamaño $\cong 1\mu$. No es expansiva, baja plasticidad, baja cohesión, de difícil dispersión inclusive con ataque ácido ^{¡Error! Marcador no definido.}, límite tixotrópico 70-95 ¹ grms agua/100. Color marrón claro. $Si_2 O_5 Al_2 (OH)_6 - Al_2 (OH)_2$. 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 una área específica de 10cm²/gr ^{¡Error! Marcador no definido.}.

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 0.5μ $10.000 \oplus \times 1000 \oplus$), 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 totalidad del cristal es mantenido junto por puentes de hidrógeno, que no se disocian en contacto con el agua, dando poca expansividad, capacidad de intercambio catiónico (2.2-15

¹ Los fundamentos físicos y químicos de la cerámica. Aut. H.Salmangh Edit. Revertte S.A 1954

meq (Error! Marcador no definido. Error! Marcador no definido) 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 tetrahédricas+ Octahédricas). 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, Halosita.

Illita. (K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀[(OH)₂,H₂O]. Procedencia E.U.A Ref. Ward's Catalog. 46E0315,46E4100. Características físicas: Tamaño ≅ 0.1μ. 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 i gris verde terroso, su rayado da color blanco. Tiene un contenido de agua del 5% en una capa de 5⊕, con una área específica de 100cm²/gr

Cristalografía: Sistema Monoclínico, cristales no distinguibles. Tacto: Untoso

Composición: Parecido a la mica y a la Xantofilita, pero conteniendo menos potasio y mas agua combinada y menor sustitución de aluminio por Sílice en la capa tetrahédrica, 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 (10-40 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 Montmorillonita². 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 séxtuple (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.

Clorita. Procedencia. Collserola, Barcelona (Catalunya). Características físicas: Tamaño ≅ 0.1μ Poco expansiva, poca resistencia a cortante. Difícil dispersión en agua, incluso con ataque ácido³. Color gris azulado. Intercambio catiónico 10-40 m.e.q

Así de la combinación de la unidad básica cargada de Mica con la unidad cargada de Brucita resulta la estructura ideal de la Clorita Si₃ O₁₀ Mg₅ Al₂ (OH)₈. Una estructura de capas séxtuple, dos triples con un puente alcalino iónico del catión K⁺ (T+O+T. T+O+T). En ello estriba su laminación (grosor ≅ 0.1μ) y el no ser elásticas, también la falta de Alcalis, al tener carga – en la periferia de la capa Octahédrica (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 tetrahédrica y de Fe²⁺, Fe³⁺ por Al en la capa octahédrica. 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.

² 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⁺.

³ Test de Emersson. Construir en Tierra. CRA Terre.

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 75-150 m.e.q, hasta 100 según (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/100 ·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 hidróxilos exteriores y así las unidades están enlazadas por [fuerzas de Van der Waals](#). (sistema de capa triple O+T+O capas Octahédricas+tetrahédricas+ Octahédricas). 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 una área específica de 1000cm²/gr.

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

El Reconocimiento de campo de las propiedades organolépticas de estas arcillas puras se fundamentan en los siguientes datos:

Profundidad a partir de la superficie

Color homogéneo o de las posibles motas.

Inclusiones. Indicar si se trata de carbonatos, hierro, raíces, mat.orgánica, etc

Textura y consistencia.

Dispersión en agua

Tipo de perfil.

Geología. Tipo de rocas o formaciones en la región.

Aguas superficiales. Coloración turbidez.

Erosión, deslizamientos y formación de microrelieve.

Consulta del Mapa Geológico

La consulta del mapa geológico del Instituto Minero y Geológico, se utiliza como fuente de información para la caracterización física de la muestra, la determinación de su génesis, y el contraste con otras tierras utilizadas tradicionalmente o usadas ya en royectos actuales con tierra estabilizada.

La localización geológica responde a conocer el posible origen de la muestra, y el sector y época geológica a que pertenece. Es de suma importancia diferenciar entre un depósito de

arcillas alóctono (arrastrado y originado en otro lugar) o autóctono, con éste último, juntamente en presencia de una atmósfera suficientemente reductora, podemos prever la presencia de arcillas esmectitas y montmorillonitas.

Identificación visual y organolépticas de la Tierra **Método**

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 calcáreas. 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 o no, ya que a poca profundidad se encuentra o no la roca.

La extracción de tierra para la obra se efectuará con....., la cual amontona directamente la tierra a utilizar pasandola por zarandas con malla de 2.5cms.

Para estas operaciones si/no hay problemas de limitación de superficie de trabajo.

Aguas superficiales:Coloración, turbidez y encharcamiento.

El color de las aguas superficiales es.....

Se producen encharcamientos..... 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 o no escasa, presencia de raíces o hierbas.

Por la descripción geológica, presencia de procesos de carbonatación por el ataque sobre el CaCO_3 ,



Presencia de materia orgánica en la primera capa superficial del suelo.

Examen del olor. Desecharemos cualquier tierra con olor a moho, sobre todo si éste se amplifica al humedecer o calentar la tierra. Las arcillas se pegan a la lengua y nos dan un olor a tierra mojada cuando son humedecidas.

Textura y consistencia.

Aparentemente la tierra tiene una consistencia establecida por los ensayos de campo, cilindro 5-15cms, el ensayo de la lengua, y el del tacto.

Se deberán determinar los siguientes factores:

La textura de la tierra es arenosa, limosa, arcillo-arenosa

Presencia de grumos arcillosos compactos, provenientes de la meteorización autóctona de la roca madre.

La arena es visible o no y se palpa fácilmente con las manos.

Presencia de arcillas expansivas o fisurables en charcos y zonas inundables.

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

Sí los taludes del terreno son muy estables, compactos y poco erosionables, es favorable para la utilización del material para la ejecución de tapial y BTC poco estabilizado.

1. Examen visual. Examinamos "a ojo" la tierra seca para apreciar la importancia de las fracciones arenosa y fina. En primer lugar, separamos la gravilla y arenas de más de 2 mm, selección igualmente válida para los ensayos que siguen. La fracción fina está constituida por los granos inferiores a 0,08 mm, o lo que es lo mismo en el límite de la visión humana.

2. Ensayo de mordedura. Se muerde ligeramente una pizca de tierra. Si cruje con una sensación desagradable, es arenosa. Si la sensación no es desagradable, se trata de una tierra limosa. La tierra es arcillosa si al morderla se obtiene una sensación harinosa, sin crujido o si una "pastilla" de tierra se pega a la lengua.

3. Ensayo del tacto. Trituramos la tierra desprovista de la fracción gruesa, deshaciendo una muestra entre los dedos y la palma de la mano. La tierra es arenosa si la sensación es de rugosidad y no presenta cohesión alguna. Será limosa si la impresión es de una ligera rugosidad y si la muestra humedecida se vuelve medianamente plástica. La tierra es arcillosa si, en estado seco, presenta terrones o concreciones resistentes a la rotura y si se vuelve plástica y adherente cuando es humedecida.

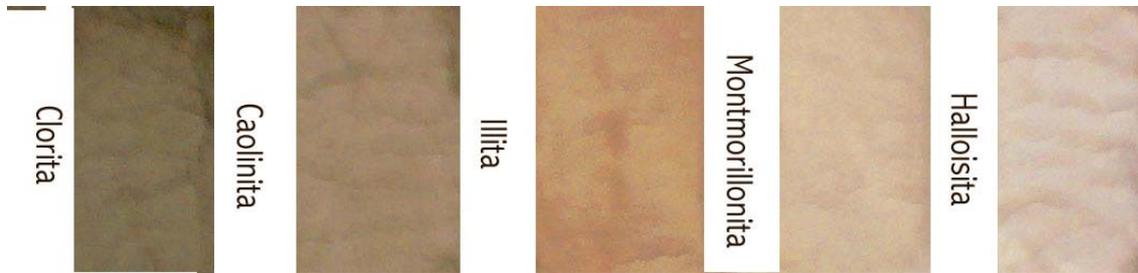
4. Ensayo de lavado. Nos lavamos las manos con la tierra ligeramente mojada. La tierra es arenosa si las manos se enjuagan fácilmente; es limosa si tiene aspecto pulverulento y no es muy difícil enjuagarse; y es arcillosa si se tiene una sensación jabonosa y es difícil de eliminar.

5. Ensayo del cilindro. Si se puede llegar a hacer un cilindro de 3 mm. de diámetro con la tierra significa que hay suficiente agua.

La tierra ideal para el adobe se encuentra haciendo cilindros de 6 mm. de diámetro y longitud entre 5 y 15 cm.

Color

El análisis del color de la muestra,, previamente secada y tamizada a $< 88\mu\text{m}$, y su contraste con la tabla anexa, nos acerca al tipo de arcillas presentes y si hay presencia de sulfuros de hierro, materia orgánica, y óxidos.



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.

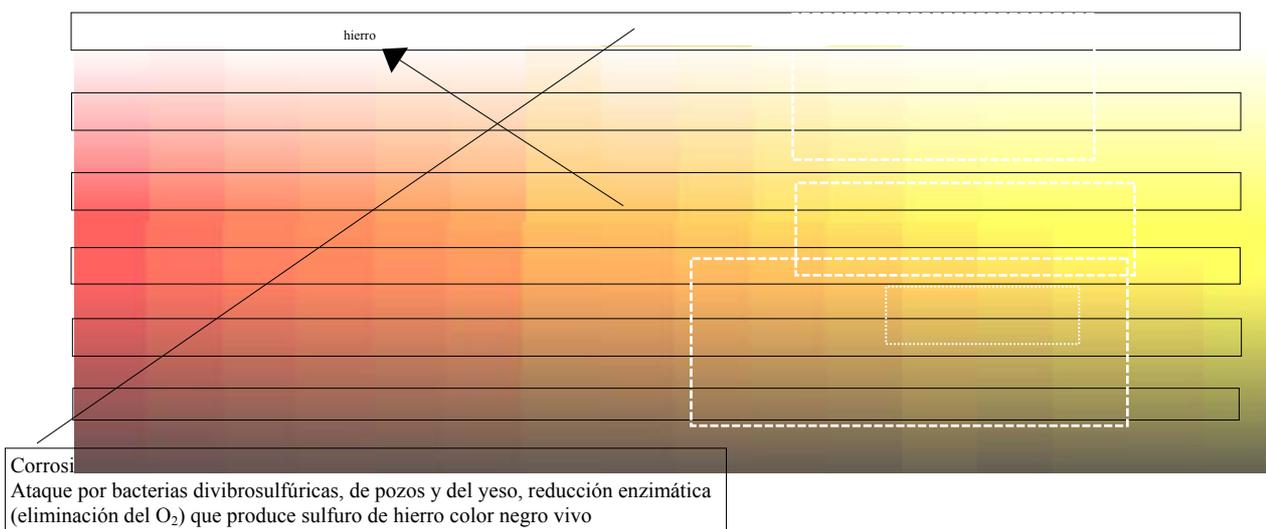
Formaciones de lutitas y pizarras, alta salinidad.
Agrietamiento intenso y profundo de 30 cm. o más, si son ricas en calcio espaciamiento de 5 a 6 cms.
Color café o café-rojizo, dispersiones amarillo-café a rojo-café.
Tamaño $\cong 0.1\mu$

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 $> 1\mu$



Preparación de la muestra de Tierra

Obtención y recogida de muestras

Se toma 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 presenta en la muestra ni raíces, piedras o bolos mayores de 5cms, ni la presencia de cualquier residuo impropio de la capa geológica original.

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 pag.255.

Posteriormente se deberán pasar por el Tamiz 1 UNE o el ASTM N°18 **500grs**. 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.

Selección del material para la elaboración de probetas.

En el laboratorio se estandariza 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 criba el material por el tamiz estandarizado de 10mm.

El secado de las tierras 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, la mayor tenencia en agua, alrededor del 3% en comparación a los 105°C, deja de ser importante al comparar los resultados en base a la pérdida al fuego total.

Procedimiento de obtención de las microprobetas

Para crear un método de trabajo práctico y manejable, se ha decidido trabajar con microprobetas ⁴de 40x40x40mm.cómo las Rilem estándar. 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/cm2para BTC con máquina manual, y de 100 Kp/cm2 para prensas hidráulicas. Las dosificaciones de agua serán acorde a conseguir una densidad óptima, difiriendo de la máxima, tal como se ha visto anteriormente en función del tipo de estabilizante, la arcilla mayoritaria, la granulometría y la compresibilidad.Para ello se efectuará una serie de 4 probetas estabilizadas con diferentes cantidades de agua de amasado.

Codificación

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

P = Cemento Portland
CN = Cemento Natural Collet de Mina
Y = Yeso. Sulfato de Calcio Dihidrato.
14 = 14% en peso respecto la arcilla.

Determinación y evaluación de la Curva Granulometría

La Determinación de las curvas granulométricas se efectua apartir del análisis granulométrico y sedimentométrico de las diversas fracciones definidas por los tamaños máximos de partículas.

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.](#)

⁴ *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*

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 $<80\mu$ 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 .

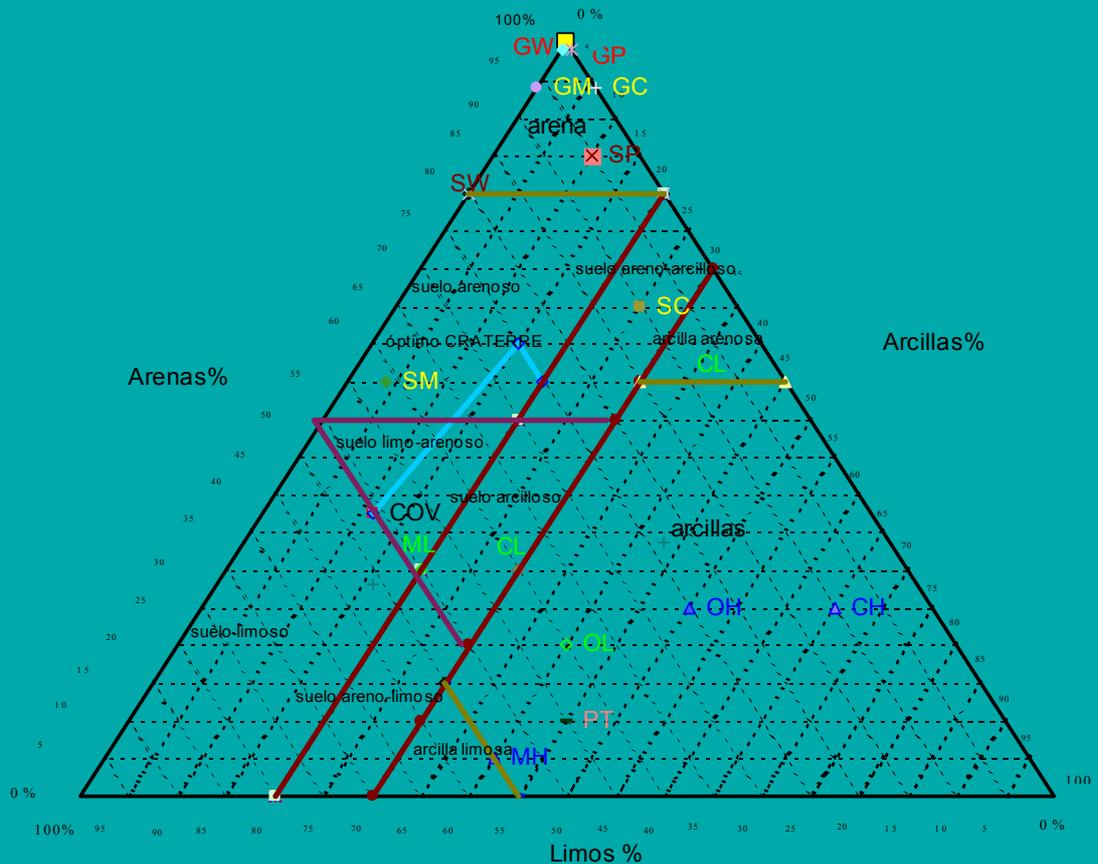
Para facilitar el proceso de defloculación de los granulos de arcilla y la separación de los finos, se dejará toda la muestra inmersa en agua destilada, y previamente al tamizado se efectuará el ensayo de la lectura del [nivel de arenas, en referencia a la UNE 7-324-76. ASTM 02419 Y la NLT-113/72.](#)

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. Cl_2Ca , 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 1minuto a 3ciclos/segundo manual o mecánicamente.

Las partículas mayores que $>80\mu$ micras se precipitan al fondo instantáneamente, con lo que podemos efectuar una 1ªlectura en la probeta graduada, correspondiente al nivel de arenas, tras dos golpes al fondo para asentar mejor las partículas más gruesas.. A los 15minutos 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 situa el punto correspondiente a la muestra, 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

| No.Nivell arcilla | No.Nivel limos | No.Nivel arena y gravas |
|---|----------------|-------------------------|
| Proceso granulometría-sedimentometría | | |
| | 10µ<100µ | >100µ |
| Na0' | NIO' | No.' |
| Valores comparativos con los resultados granulométricos | | |
| | | ideal CRA.Terre |
| 15,00% | 25,00% | 60,00% |

bidimensionalmente la composición de una tierra mediante sus tres componentes principales: porcentaje de arena; % de arcilla; y % de limo. Éste sistema de clasificación ternario, situa 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 ejemplo 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 efectúa 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 $<70\mu$ 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 grm/cm^3 . 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 cm^3 .

Se agita la disolución durante 1' a 3 ciclos/segundo manual o mecánicamente, y se empiezan a anotar tiempos, temperaturas (régimen aconsejable $20\text{-}25^{\circ}$) 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 deberán efectuar las correcciones pertinentes.

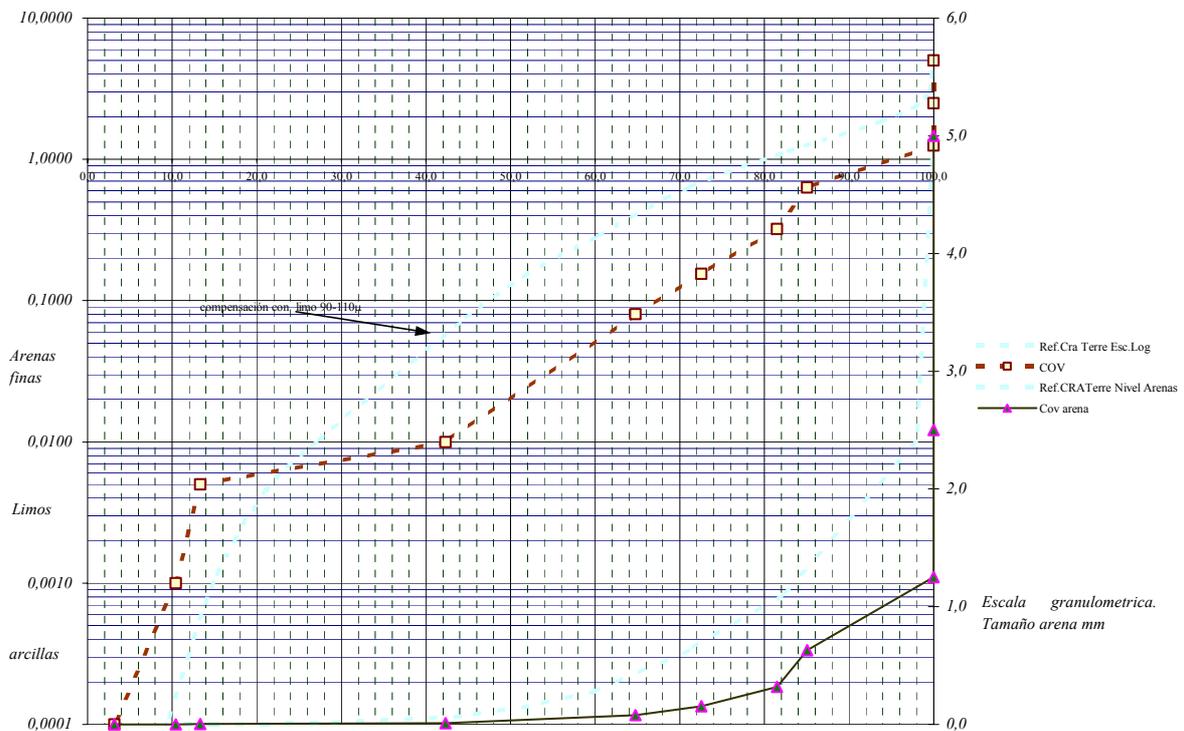
Las lecturas se van efectuando a 1', 2', 3', 4', 8', 16' (nivel donde generalmente empieza la fracción arcilla), 30', 60', 2h, 16h, 24h y finalmente a las 48 horas. Para comparar las temperaturas se dispone de una probeta secundaria, donde se deposita el termómetro y el hidrómetro entre lectura y lectura.



Fig 1 Termómetro, densímetro 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.

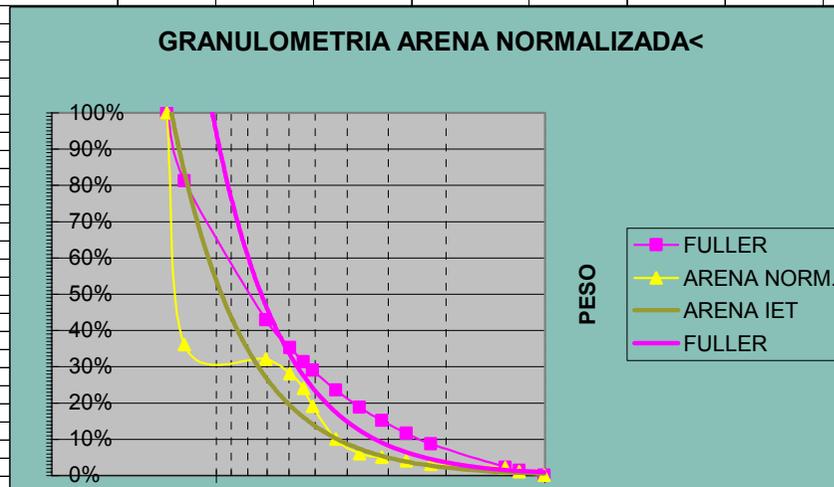
Para evaluar la complementariedad y distribución de las diferentes fracciones granulométricas se introducen los datos anteriores en un gráfico que tenga escala logarítmica para los diferentes tamaños de las partículas, y se utiliza una curva de referencia óptima del CRAterre para observar en que fracciones hay déficit o exceso.



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.

Tabla Sedimentométrica tipo.

| 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 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 | 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 | | 14,00 | 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% | | | | | | | | | | | | | | | |



Proceso de dosificación del estabilizante

La dosificación se efectuará 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.

La metodología adaptada al sistema de microprobetas, sigue las directrices expuestas en la crítica de los Antecedentes, y adopta 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). Éste punto intermedio lo fijaremos en el grado de humedad que tenga la mezcla sí tiene cohesión suficiente tras ser apretada con la mano y romperse sólo en cinco trozos al dejarla caer desde cuarenta centímetros. Las tierras con Montmorillonitas, y después con Illitas presentarán los índices mayores de humedad de compactación.

Las pesadas se han realizarán balanza electrónica con precisión mínima de ± 0.01 grs. El elemento que requiere mayor precisión es la sosa caustica, para evitar patologías o alteraciones en el análisis químico.

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 mientras, la mezcla se deseque o frague.

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 cubo metálico de 2x2x2 cms cómo pistón.

En cada operación con el molde deberá ser pintado con aceite desencofrante, ya que la mezcla de las arcillas se adhiere muy fácilmente.

Mezclado de los componentes

Tras pesar por separado cada arcilla, la arena normalizada, 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 a temperatura ambiente de 20°C.

Inicialmente la adición del agua, con o sin sosa, se efectuó mediante aspersión para no generar grumos y dar mayor homogeneidad, pero ello comportaba errores en la dosificación del agua, ya que parte de ésta 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.

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. 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

Sin perder tiempo, y evitando posibles corrientes de aire o fuentes de calor, se llena el molde manualmente. La operación se hace en tres tongadas, presionando cada vez con fuerza con el dedo pulgar, enrasandolo finalmente con un cuchillo. Al contener algunas mezclas sosa, la mezcla es manipulada con guantes de latex.

Tras ello se coloca el cubo-pistón de acero de 4x4x4, 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. Ésto 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 A/H 1/1. Es importante verificar las alturas, ya que hemos comprobado que són 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 són pesadas con balanza electrónica, 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 entrar 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 ⁵.

Tras su extracción de la cápsula se dejan 48 horas secar al aire en condiciones de 20°C / 60% HR, evitando corrientes de aire y fuentes de calor, para evitar los efectos de la microfisuración. Las microprobetas ya están preparadas para efectuar los siguientes ensayos.

Determinación del contenido de Arcillas por ATD/ATG TERMOGRAVIMETRIA

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 isoterma, 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.

Los cementos naturales muestran picos entre los 680° y los 700°.

Las **Caolinitas** se caracterizan por tener un pico endotérmico alrededor de los 550°-590°C y el exotérmico de los 1050°, 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.

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 dioctahédricas 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.q ver. Graf.adjunto), se ha comprobado que es directamente proporcional al potencial

⁵ 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:

catiónico. Así la temperatura del pico de cambio crece en orden a la serie de Hofmeister : $\text{Na}^+ > \text{Ba}^{2+} > \text{Li}^+ > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

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 trioctahédricas, 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 un doble exo-endo a los 1110°.

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 CIH 1/1. La dolomía, el Carbonato Magnésico (pico 400°C) se elimina con digestión ácida de 4Horas al 25% de CIH

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.

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°/ 850°-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).

Todo ello se resume de forma práctica en la siguiente tabla para señalar los picos encontrados y así cuantificar las pérdidas de masa relativas y relacionarlo con algún elemento arcilloso o aglomerante.

Datos Genrelaes del ATD/ATG

| Peso muestra ATG | Factor ATG | PF.Total | | |
|------------------|------------|------------------|-------------------|-------|
| | | ATG hasta 1100°C | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | Lecturas a escala | |
| | | °C | 100° | 130° |
| 29,646 | 1,694 | 9,73% | 0,65% | 0,50% |

Análisis físicos

Evaluación de la Estabilidad volumétrica mediante el Ensayo de Retracción

Con una muestra de barro de plasticidad normalizada⁶, 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 de BTC 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.

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.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en la muestra, de tierra pura sin tratar.

| Wr. Retracción | Retracción lineal % molde 50x5x5 | Distribución de la Retracción 7 días |
|---|-------------------------------------|---|
| | | Estado fluido. |
| $2(P_w - P_s) + (P_h - P_h) \times 100 / P_s$ | | n° de fisuras/ dist.max entre ellas |
| UNE 7016 | Obtener <3% | A obtener 0 |

Baja en la caolinitas/media en Illitas-micas/alta en montmorillonitas/limitada en la clorita-vermiculita

⁶ - 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.

| | | |
|------------|------------|-------------|
| Wr. | Wr' | dWr' |
| | 3,17% | 0,70 |

Estos datos se corresponden a la presencia de....., 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 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.

Obtención de las densidades de las microprobetas

En este punto se establece la metodología para la obtención de las densidades aparentes, mástica (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 mástica | Di.Den.fracción | Dn.Densidad | Dr.Dens.real disgregado | Pto. Porosidad real. | P.Porosidad superficial | e.Índice de | e.superficial. | W.Absorción |
| 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 1 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.

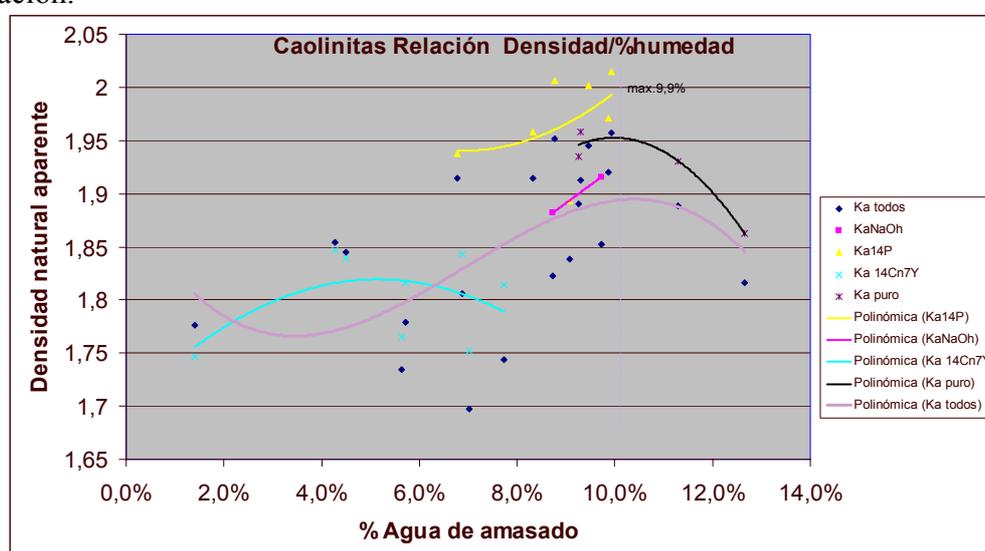
[Determinación de las propiedades físicas, ASTM C642-81](#), la [ASTM D 558-96 “Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures”.](#), la [NLT-301/72](#), y las [UNE 7001, 7007, y 7140](#), modificadas en cuanto el uso de tetracloruro de carbono en frío, en el lugar de agua 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 hidroestática](#), 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 utiliza otro líquido más denso que el agua, [el tetracloruro de carbono](#) Cl_4C en frío y al vacío. Esto se debe 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 Acido 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 físicoquímicos 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. Pesar 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.

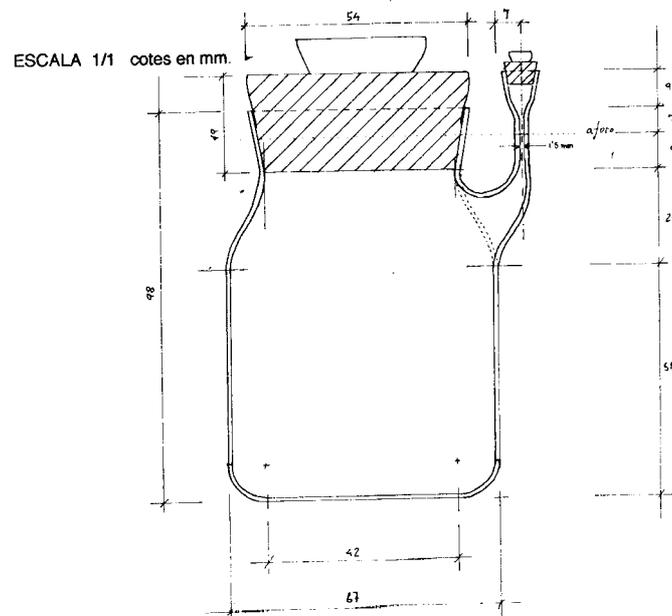
-P. Se vuelve a colocar la probeta en el picnómetro, se afora de nuevo, y se repite el peso

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.

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



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

La medida media de las densidades máxicas obtenidas en las microprobetas, con sus respectivas desviaciones estándar, calculadas según $\bar{\sigma} = \sqrt{\sum \delta_n - \delta_m / n}$, se dan en una tabla:

Se pueden tomar como valores de densidad específica absoluta de referencia a⁷:

⁷ GEOTECNIA Y CIMENTOS Y, Ed. Rueda, Madrid, 1977.

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

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.

Determinación de los límites de Atterberg.

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

Se utilizarán los métodos dados por [;Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#)

[pág.;Error! Marcador no definido.](#) y la [pág.;Error! Marcador no definido.](#). Consultar

Anexos Norma 23.

[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.](#)

[ASTM D2487,](#)

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 pesafiltros 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](#)

No obstante sería más recomendable usar el siguiente método:

PLASTICIMETRO DE PFEFFERKORN

OBSERVACIÓN PRELIMINAR

Según Pfefferkorn la plasticidad de una arcilla viene determinada por el grado de aplastamiento que sufre una probeta cilíndrica de determinadas dimensiones, con diferentes dosis de agua, mediante un solo golpe de un pisón de un peso prefijado cayendo de determinada altura.

Como valor de la plasticidad se utiliza el tanto por ciento de agua para el cual la probeta experimenta un aplastamiento del 30% de su altura inicial.

El método empleado para determinar la plasticidad es el siguiente:

Con la arcilla en estudio se hacen 3 ó 4 bolas con distinta dosis de agua sacando de cada una de ellas una probeta que se ensaya. Los resultados de los ensayos se llevan a un gráfico de coordenadas rectangulares en que las ordenadas representan los tantos por ciento de agua y las abscisas los valores relativos de la altura de la probeta, antes y después del ensayo, p. Ej.

$a=h_0 : h_1$. Luego se unen los puntos por medio de una curva.

El índice de plasticidad de la arcilla estudiada se obtiene de esa curva leyendo el valor de la ordenada que corresponde a una abscisa de 3.3.

Pfefferkorn llegó a esa definición del índice de plasticidad a base de ensayos prácticos en los que estableció que el grado de deformabilidad de las arcillas dividía a éstas en tres clases que pueden distinguirse como sigue:

Si el valor de la relación $a=h_0 : h_1$ es menor que 2,5 la masa plástica de la arcilla es difícilmente trabajable, por ser demasiado seca.

Si aquel valor cae entre 2,5 y 4 la arcilla está en la zona de buena deformabilidad.

Si se obtiene en el ensayo un valor de $a=h_0 : h_1 > 4,0$ la arcilla empieza a volverse pegajosa. En la zona de las buenas deformabilidades los valores de la relación a oscilan entre los límites 2,5 y 4,0 y por consiguiente la dosis de agua puede también variar entre ciertos límites por lo que Pfefferkorn estableció un valor de su índice de plasticidad.

DESCRIPCIÓN DEL APARATO.

El Plasticímetro de Pfefferkorn consiste en un soporte montado sobre una placa de base, que lleva una guía por la que se desliza un pisón que en su cara inferior lleva un disco de latón. En la plataforma de hierro fundido que sirve de base hay una segunda placa de latón bien centrada. El peso total del pisón es de 1.192 g. La distancia libre entre ambos discos de latón cuando el pisón se eleva hasta el tope es de 186 mm..

El molde para preparar la probeta es un molde cilíndrico en dos piezas, que tiene 33 mm. De diámetro interior y 40 mm. De altura. La altura de caída del pisón desde su punto más elevado hasta tropezar con la probeta es pues de $186 - 40 = 146$ mm.

Entre los muñones del soporte de guía hay 2 escalas. La de la derecha lleva una subdivisión métrica en la que se puede leer en mm. La altura del aplastamiento de la probeta después del ensayo.

La escala de la izquierda da directamente sin necesidad de cálculo alguno el valor de la relación de alturas de la probeta antes y después de la prueba, es decir $h_0 = h_1 = a$ donde h_0 es la altura de la kisma después de sufrir un golpe del pisón.

PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.

La masa plástica para hacer las probetas según Pfefferkorn se prepara con arcilla desecada al aire y agua destilada, amasando hasta obtener una papilla fluída pero espesa que se pasa por un tamiz de 0,4 mm. De luz de mallas. La pasta así obtenida se vierte sobre una placa de yeso y se deja consolidar hasta queee forme una masa plástica.

Para hacer variar la dosis de agua se deja más o menos tiempo la pasta sobre la placa de yeso, a fin de hacer variar el grado de desecación.

La probeta moldeada en el molde ligeramente aceitado se pesa antes de llevarla al plasticímetro. Después del ensayo, la probeta deformada se deseca a 110°C. Con el fin de poder deducir de la diferencia de peso el contenido de agua que llevaba.

4- EJECUCIÓN DEL ENSAYO

El pisón es levantado y mediante una clavija que se introduce en una muesca es mantenida en dicha posición. Las placas de latón se aceitan ligeramente en las caras que se miran una a otra.

La probeta una vez pesada se coloca sobre la placa inferior de latón procurando centrarla bien. Con la mano derecha se coge el botón cónico de agarre del pisón. Se quita con la mano izquierda la clavija de la muesca. Se eleva el pisón hasta el tope y se deja caer desde esa posición sobre la probeta.

Se anotarán luego los valores que el indicador del pisón señala en las escalas del aparato.

5-UTILIZACIÓN DEL ENSAYO

Después del ensayo la probeta aplastada se deseca a 110°C. Hasta peso constante y luego se vuelve a pesar.

Significan:

G₁ el peso de la probeta húmeda sin aplastar, y

G₂ el peso de la probeta desecada a 110°C.

Para calcular el contenido de agua se aplicará la siguiente fórmula:

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \text{ (en \%)}$$

El contenido de agua de la probeta queda así expresada en tantospor cientos del peso de la probeta húmeda antes del ensayo.

Para la subsiguiente utilización y para la determinación del índice de plasticidad puede servir de modelo el siguiente ejemplo:

Una arcilla da los siguientes valores en correspondencia con los diferentes grados de humedad.

$$a = h_0 : h_1 \quad W = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100$$

| | |
|------|--------|
| 6,7 | 30,5 % |
| 3,06 | 27,8% |
| 2,0 | 25,8% |
| 1,4 | 24,0% |

Se marcan los puntos correspondientes a esos valores en un gráfico y se traza la curva correspondiente.

El punto de intersección del valor 3,3 de la abscisa con la curva da entonces un valor W= 28%.

Este valor es el índice de plasticidad de Pfferkorn de la arcilla que se ha tomado como base de este ejemplo.

Sobre un Crudo y Arcilla de la fábrica de Villaluenga, se ha efectuado varias determinaciones de plasticidades según Pfefferhorn en diferentes días, con distintas humedades y diferente método ó mejor dicho, dentro del mismo método una pequeña modificación.

La modificación consiste unicamente en que para determinar el segundo punto y siguientes, así como para el método normal, se coje directamente de la placa de yeso donde está el material para acelerar la absorción de H₂O y se confecciona un cilindro, pues esta modificación es tomar toda la muestra después de su absorción y amasarla a fin de que no haya una posible diferencia de humedades en las pequeñas porciones sacadas para confeccionar el cilindro.

Se han efectuado 4 determinaciones de plasticidad con material Crudo y 4 determinaciones más con Arcilla ambas de la fábrica de Villaluenga.

CRUDO

$$\text{Indice de Pfefferhorn} = \frac{1}{25,8} \quad \frac{2}{25,8} \quad \frac{3}{26,0} \quad \frac{4}{25,2}$$

ARCILLA

$$\text{Indice de Pfefferhorn} \quad 37,8 \quad 37,9 \quad 37,2 \quad 37,4$$

Los puntos 1,2 y 4 están efectuados normal y el nº 3 con la pequeña modificación, como se puede apreciar la diferencia es nula

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 40 golpes, (de tal modo que si el surco cierra antes de 10 ó después de los 40 golpes deberá repetirse la operación).

El amasado de la muestra se realizará con una 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.⁸

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.

⁸ 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 lampara de infrarrojos para secar y de una espátula para remezclar 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 Casagrande 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 Casagrande, 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 Casagrande es el que generalmente debe usarse, ya que con él se obtiene siempre la misma profundidad de surco.

En suelos poco plásticos, el acanalador de Casagrande 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 Casagrande, 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**

Índice de plasticidad.

I_p es la diferencia entre el límite líquido (w_l) y el límite plástico (w_p).

$$I_p = w_l - w_p$$

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> |

Cómo referencia hay que recordar que:

- 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.

$$C_a = I_p / \% \text{ argiles}$$

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

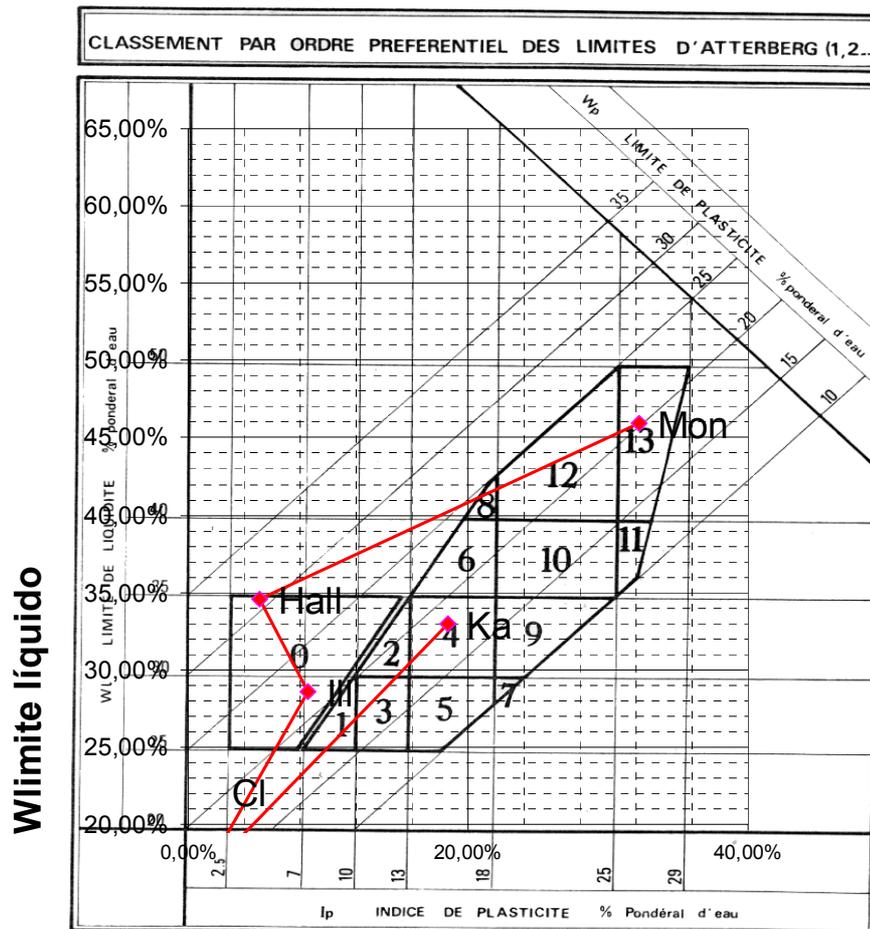
| Coefficient de actividad | Tipus de sól |
|---------------------------------|------------------------|
| inferior a 0.75 | <i>Inactivo</i> |
| de 0.75 a 1.25 | <i>Actividad media</i> |
| de 1.25 a 2.00 | <i>Activo</i> |
| superior a 2.00 | <i>Muy activo</i> |

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 Montmorillontas que son de actividad media.

Sí se extrapolan los resultados a la gráfica de Casagrande utilizada por el CRATerre, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, 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 | <i>Inactivo</i> | <i>Bajo o nulo</i> |
| 8-9-10 | <i>Actividad media</i> | <i>Bajo o medio</i> |
| 11-12-13 | <i>Activo</i> | <i>Importante</i> |

Arcillas con arena



Indice de plasticidad

Tabla 2 Tabla Límites de Atterberg

| Zona plástica | 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 media | Baix o mig | Cemento-Cal |
| 11-12-13 | Activo | Importante | Cal |

ESSAI DE LIQUIDITE

COURBES D'INTERPRETATION

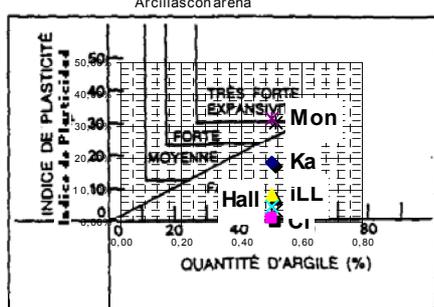
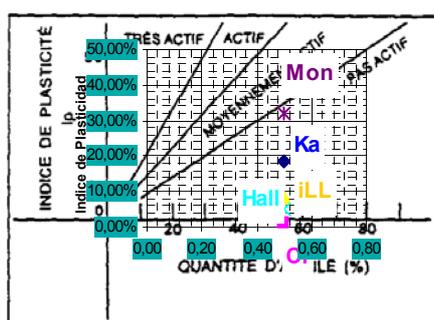
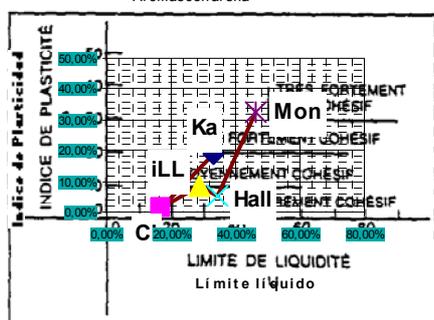
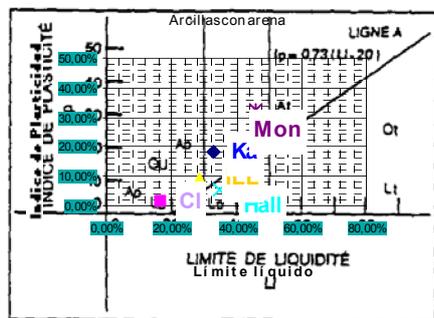
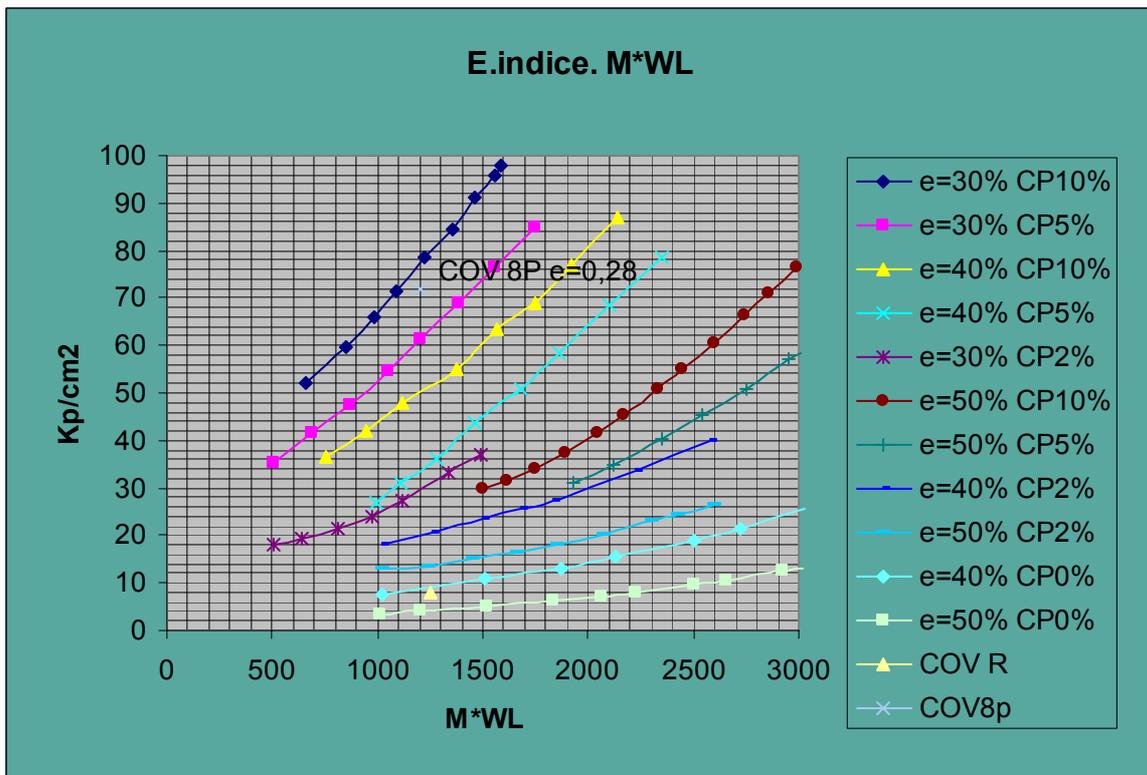


Tabla 3 Cuadros comparativos del análisis de los límites de Atterberg para la caracterización de las principales características físicas de las arcillas. La muestra de Montmorillonita al 50% aparece como la tierra más activa, con mayor grado de expansividad y mayor cohesión. Tras ella va la Caolinita, 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.

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)



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 dinanométrico 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 tablas:

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%.

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%.

Series complementarias con adiciones activas.

Tal como se ha expuesto en los Antecedentes existe un sinfín de sistemas de estabilización de las arcillas. 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.

-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, en base a 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.

Cabe considerar 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 caústica | | |
| Montmorillonita | C.Portland | Cemento Natural y yeso | Sosa caústica | Cal aerea | |
| 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 caústica | Cemento Natural y yeso | Paval y cal No utilizar cal sola |

Tabla 4 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.

Ensayos de Durabilidad.

Absorción

La primera etapa de los ensayos de durabilidad consiste en la saturación de las microprobetas en agua destilada, en condiciones de laboratorio.

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

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.

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.

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

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.

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 agresivo⁹, 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.

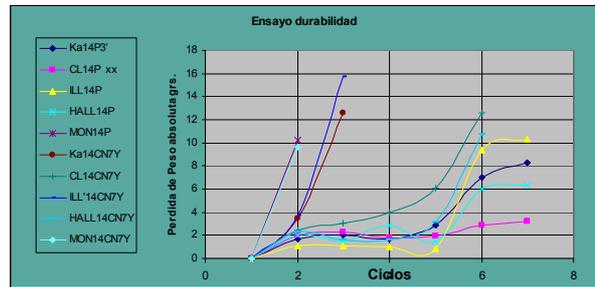
Después del primer ciclo de humectación y secado, se procede con un ciclo de gelifracción (G) a –15°C durante ocho horas y secado, con el mismo tiempo, en estufa a 60°C, para evitar alteraciones estructurales de las arcillas.

⁹ 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.

Seguidamente se inicia el tercer ciclo de Humectación salina (Ws) y secado (S). La disolución de la sal sódica hasta saturación se ha efectuado en condiciones de laboratorio.

Tabla tipo para la expresión de los resultados

| | Secado 48h | | Hielo 7h | | W+G+S | | W+G+S | | W+G+S | |
|------------|------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 48h | 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 | 8,14 | 12,59 | | | | |
| ILL14P | 0 | 1,06 | 1,14 | 0,990 | 0,84 | 2,34 | 10,32 | | | |
| ILL14CN7Y | 0 | 3,72 | 15,68 | | | | | | | |
| HALL14P | 0 | 2,05 | 1,53 | 2,890 | 1,42 | 6,04 | 8,35 | | | |
| 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, Gelifracción 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.

Coeficiente de transmisión térmica

Base de datos de referencia elaborada por el CSTB en 1987 sobre las propiedades térmicas de la tierra.

| 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. Proprieties thermiques du materiau 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 | λ |
|------------------|---|-----------|
| | $\epsilon \Delta 105^\circ\text{C}-920^\circ\text{C}$ | |
| | % | |
| 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 |
|------------------|--------------------------------------|
| | $\Delta T_{m.aire-60^\circ\text{C}}$ |
| | % |
| 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°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 1949¹⁰.

$$\text{conductividad según Hr\%(x) } K=3,78(\text{Hr\%})+K_0$$

*Aut. Hutcheon. Univ. Saskatchewan 1949

Cabe destacar que la experimentación se efectuó con lecturas por termopar sobre microprobetas cortadas de 18x18x2.5 cms en cámara caliente, y simultáneamente sobre un módulo cúbico construido con tierra de 3x3x3m. Los resultados extraídos por los dos procedimientos son coincidentes.

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

| | | |
|---------------|--------------------------|--------------------|
| K (2,54cms) = | 2,36 | 13,4 |
| Tapial | Btu/h ft ² °F | W/m ² K |

| | | |
|-------------|------|--------|
| $\lambda =$ | 0,34 | W/m °C |
|-------------|------|--------|

| | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------|
| K (2,54cms) = | 4 | 22,71 |
| Adobe estabilizado | Btu/h ft ² °F | W/m ² 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

¹⁰ Thermal conductivity of Rammed Earth. Aut. N.B Hutcheon and WH.Ball. Edit. C.Engineering University of Saskatchewan. September 1949.

Ensayo de transmisión térmica

Para determinar el coeficiente de conductividad térmica realizaremos un ensayo tipo tomando como 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.

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 más fría, midiendo las temperaturas del aire y de las superficies a los dos lados de la muestra, y las medidas de la muestra (grosor 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 tablas¹¹ 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

¹¹ NBE-CT-79 Norma Básica de la Edificación, Condiciones térmicas en los edificios. MOPT. Madrid 1989

el su interior y para transmisiones a el exterior que aumenten al incrementar la superficie de contacto.

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.

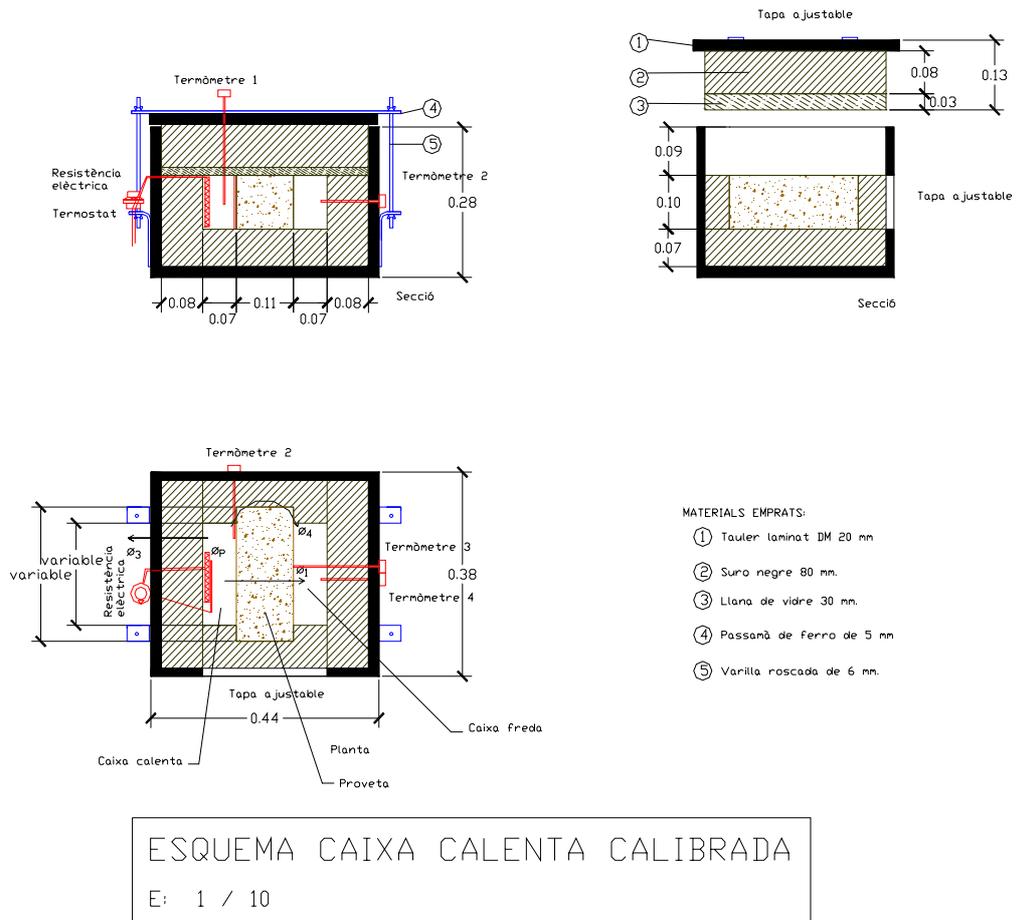
Una vez se coloca la probeta para ensayar los encajes correspondientes ^{foto 2}, se asegura bien que quede completamente cogida, (fijándola con tiras de fibra de vidrio si es necesario), **presa ladoeralmente** para la pared móvil y para la tapa, que está dotada de unos caracoles para poder apretarla.

Para realizar el ensayo se accionará una resistencia 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 resistencia.

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 frío, 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 flujo¹² 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:

¹² 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:

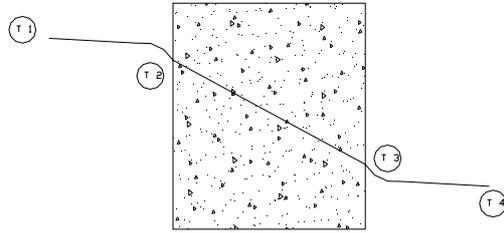
$R_s = \text{Coeficientes de resistencia térmica } 1/h_c + 1/h_f \text{ (m}^2\text{a}^\circ\text{C/W)}$
 $e = \text{Grueso (m)}$
 $\lambda = \text{conductividad (W/ m}^\circ\text{C)}$

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.

Los resultados se expresarán :

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= $\exp(-e \cdot \sqrt{\pi c \delta / \lambda T})$ 0,82

Factor a 0°C
0,760346053

$\lambda =$ 0,85 0,955480226

$\lambda =$ 0,6 K= 1,13 W/m² °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/m² °C

$\lambda =$ 0,546 W/m °C a 35 °C K= 1,30 W/m² °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

Análisis químico de las microprobetas.

Para la evaluación cuantitativa de las sustancias activas presentes en la tierra 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 portland 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"¹³ 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 .

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

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.

1.1.1. 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 moltura en mortero cerámico deshaciendo los terrones, y se pasa toda la muestra por el tamíz 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 63µm.

- Se cuartea la muestra y se toman **2.5 gramos**, pesados con precisión de un milígramo ± 0.1 , y se desleen 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°C a +8°C. Éste **primer ataque**

¹³ 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

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 5-10cm³ 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 provinientes de las adiciones activas.

Para obtener la sílice soluble (Si O₂) y la Alumina soluble (Al₂ O₃) 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, ésto provoca una coprecipitación de los ácidos sílicos en reacción de polimerización los cuales formas flóculos de sílice coagulada sobre la propia muestra.

-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.

-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°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^- son 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.

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 CEN¹⁴, procesos basados en la adicción 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 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.

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 .

Ejemplo:

| 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 |
| Xi | 0.13 | 0.10 | 0.08 | 0.18 | 0.35 |
| | | | | | |
| $\text{SiO}_2, \text{R}_2\text{O}_3, \text{CaO}$ cooprecipitados + AtaqueOH⁻ | 0.91 | 0.11 | 0.14 | 0.25 | 0.13 |

¹⁴ European Standard en 196-2-94 Chemical Analysis of cements.

| | | | | | |
|---|-------|------|------|-------------------|--------|
| 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% |

Correlación con la resistencia

-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 las gráficas.

- Los aditivos y adiciones 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. Estas fases aglomerantes no dan estructuras tan resistentes como las SCH (silicatos cálcicos), tal como muestran las resistencias obtenidas.

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.

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:

$$\sigma^+ = 31,2 * (\% \text{ SiO}_2 \text{ soluble}) + 37 \pm 5\% \text{ Kp/cm}^2$$

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. (ver ;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.pag.;****Error!**

9.-CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO

9.1.- Principio

El suelo se satura de sodio mediante cuatro lavados sucesivos con acetato sódico 1N a pH 8.2. El exceso de sal se elimina del suelo y el sodio absorbido se desplaza con acetato amónico 1N, en cuya solución se determina el sodio.

9.2.- Material y aparatos

9.2.1.- Fotómetro de llama o espectrofotómetro con accesorios para fotometría de llama.

9.2.2.- Agitador mecánico de tubos de centrifuga.

9.2.3.- Centrifuga y tubos de 50 ml.

9.3.- Reactivos

9.3.1.- Solución de acetato sódico, 1N. Dissolver 136 g. de acetato sódico trihidrato en agua y diluir a un litro. El pH de la solución debe ser, aproximadamente, 8.2.

9.3.2.- Etanol al 95 por 100 (V/V).

9.3.3.- Solución de acetato 1N, ajustada a pH 7.0. Añadir, por cada litro de solución que se prepare, 57 ml. de ácido glacial a unos 600 ml. de agua y entonces añadir 68 ml. de hidróxido amónico concentrado, de peso específico 0.90. El hidróxido debe añadirse en una vitrina de gases, a través de un embudo de cuello ancho, de tal manera que llegue a fondo de la solución de ácido. Dejar enfriar y ajustar a pH 7.0 con ácido acético o NH_4OH , usando un pH-metro o indicador azul de bromotimol y llevar la solución a volumen convenido.

9.4.- Procedimiento

Pesar, con precisión de 0.01 g., una muestra de 4-6 gramos, según textura. Colocar en un tubo de centrifuga y añadir 33 ml. de acetato sódico (9.3.1.). Agitar el tubo tapado durante cinco minutos en el agitador mecánico. Destapar y centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro. Decantar el líquido sobrenadante y desecarlo. Repetir el tratamiento otras tres veces más, suspendiendo el suelo antes de cada agitación. A continuación, suspender la muestra en 33 ml. de etanol (9.3.2.) y agitar el tubo tapado durante cinco minutos; destapar, centrifugar y decantar el líquido claro que sobrenada. Repetir el tratamiento hasta que la conductividad eléctrica del último líquido sobrenadante sea inferior a 40 micromhos cm tres lavados sucesivos.

Desatizar el sodio absorbido por la muestra tratandola del mismo modo, con tres porciones de 33 ml. de acetato amónico (9.3.3.), decantando cada porción del líquido sobrenadante en un matraz alorado de 100 ml., completando el volumen con acetato amónico (9.3.3.) y homogenizarlo.

Determinar la concentración de sodio en el extracto contenido en el matraz, de acuerdo con el método 14a para extractos de acetato amónico.

9.5.- Cálculo

Capacidad de cambio mec. 100 g. = $\frac{10 \cdot C}{P}$

siendo

C = concentración, en meq/l, de Na en el extracto.

P = peso, en g., de la muestra seca.

9.6.- Observaciones

9.6.1.- Para obtener los cationes de cambio de forma individual, determinar el contenido de Ca y Mg en el extracto final.

9.7.- Referencias

1.- Bower, C. A., Rauheimer, R. F. y Freeman, M.: "Exchangeable cation analysis of soils". Soil. 51, 73-251-261, 1962.

Marcador no definido.)

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^{¡Error! Marcador no definido.}. 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^{¡Error! Marcador no definido. 15} 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 calcareo 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 portland 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, expanividad 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.
- El filtrado se hierve y se añade simultáneamente a una solución en ebullición de cloruro de bario al 10 % (previamente disuelta en 50 cm^3 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 amb un vidrio de reloj. Pasado este período de tiempo se

¹⁵ 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 despreniments. Aut. Dr.F.Gomà. UPC.Lab.Recerca química Barcelona 1999.

vuelven a tirar algunas gotas de la disolución de cloruro de bario para comprobar que ha precipitado todo. También lo podemos efectuar dejándolo 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.

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:

Gráfico Ternario de optimización de la estabilización.

