

Antecedentes científicos

Propiedades de la Tierra como Material de Construcción

Razones lógicas que fundamentan el argumento de una construcción más ecológica y solidaria.

- Una razón económica:

Porque en principio la tierra está al alcance de todos y disponer de ella para construir disminuye los costes notablemente. Esto es aplicable tanto en Occidente como en aquello que de manera soberbia y parcial llamamos Tercer Mundo, donde a menudo se importan materiales y tecnologías inadecuadas al medio ambiente y a las condiciones climáticas locales. En este caso, el uso de la tierra, aparte de comportar un ahorro evidente, aparece como una alternativa de afirmación cultural al modelo de identificación impuesto por la economía y la política.

La tierra, como material de construcción, a menudo no requiere un transporte, y casi nunca se ha de comprar; por ello, disminuye claramente los costes.

El mismo proceso constructivo, debido a su simplicidad y calidad, reduce o elimina otras operaciones que requieren especialización (colocación de aislamientos, revestimientos interiores...), reduciendo aún más los costes y facilitando su implantación en países con tecnologías no desarrolladas.

- Una razón de calidad:

Las propiedades constructivas de la tierra permiten obtener, igual o mejor que otros materiales, unas condiciones adecuadas de confort y, sobre todo, garantiza una capacidad de aislamiento tanto térmico como acústico, muy por encima de los materiales convencionales.

Gracias a su “masa térmica” la tierra tiene la facultad de calentarse y enfriarse muy lentamente, actuando como un acumulador que libera la temperatura poco a poco, en un efecto similar al del agua del mar (llamado “inercia térmica”), suavizando los cambios climáticos entre la noche y el día, o entre las estaciones, sin gasto energético, de forma totalmente natural.

- Una razón ecológica:

La utilización de un material propio del entorno, cálido y agradable a los sentidos, permite a las construcciones una mejor integración en el paisaje.

El proceso de obtención de la tierra estabilizada, minimiza la producción de residuos, ya que no requiere un proceso industrial de fabricación. Para adobar la tierra (estabilizarla), se pueden emplear una gran variedad de productos orgánicos e inorgánicos de origen natural. Una estabilización adecuada permite obtener propiedades óptimas de impermeabilización, resistencia, etc., en más o menos grado según las condiciones de cada caso particular (climatológicas, medioambientales...). En cuanto al aislamiento acústico sólo hay que recordar el viejo dicho: “Es sordo como una tapia” (una tapia es un muro compacto de tierra).

Resumiendo, “La tierra estabilizada”, una técnica antigua mejorada con recursos actuales, proporciona las cualidades que citamos a continuación.

- Aislamiento térmico: Conductividad térmica: 0,5 Kcal/hm°C.¹

La conductividad térmica (Portland cement asociation) en los suelos arenosos es de 45,4 w/m2, en los limosos de 22,7 w/m2 y en los arcillosos de 21 w/m2.

Calor específico: 0,27 Kcal/Kg (R yB.Yale Edit.GG.1976)

K= 0,8-0,5 Kcal/h m2°C. Esto equivale a que con 9,5 cm de tierra aislamos lo mismo que con 50-60 cm de piedra u hormigón.

La tierra es considerada muy eficiente energéticamente, con bajo coste e impacto medioambiental, tanto si es en balas de tierra-paja, adobe, o tapial¹.

características	bala paja	adobe	tapial
grueso cms	58	41	46
Densidad Kg/m3	136	2.08	2.083
Calor específico MJ/m3K	0.1	1.68	1.68
Resistencia térmica m2K/W	9.6	0.7	0.81

En la ponencia de Amar Bennadji, M. Cote y Jean Louis Izard² compararon el gran confort térmico conseguido en viviendas construidas con tierra, en zonas áridas, a las ejecutadas con materiales convencionales actuales. Únicamente el confort térmico, de estas primeras, podía oscilar en función del grado de ventilación y volumen interno de las viviendas.

- Aislamiento acústico: 58 dB F.500Hz en una pared de 50 cm.

- Gran inercia térmica: acumulación de calor en verano y/o durante el día para el invierno y/o la noche.

- El módulo de Poisson (según FELT)¹ es 0,2 a 0,3, a compresión de 0,08 a 0,24.

- El ángulo de rozamiento interno en suelos arcillosos es de 33° y en suelos arenosos es de aproximadamente 45°.

¹ "Building code adaptations and thermal characteristics" Aut. Marta Layseca y martin Yoklic. Univ.Arizona, laboratorio de investigación ambiental. mlayseca@flash.net- myoklic@ag.arizona.edu. Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea'98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 597-601 Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

² "Building climatic performance in arid zones" Aut. Amar Bennadji, M. Cote y Jean Louis Izard. E.A. Marsella. Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea'98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 225 Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

- Sin cargas radioactivas o tóxicas, que no sean las propias de la naturaleza del lugar.
- Incombustibilidad.
- Estabilidad química y, por tanto, durabilidad.
- Resistencia a los cambios climáticos. El coeficiente de dilatación térmica es de 0.012 mm/m°C.
- Estabilidad volumétrica, a partir de la estabilización de las arcillas que la componen. Coeficiente de retracción lineal de 3mm/m (sin estabilizar).
- Permeabilidad y regulación del vapor de agua. Coeficiente de absorción de agua de 5 a 8% (peso seco).
- Ductilidad para ser trabajada, prefabricada y modelada.
- Impermeabilidad en estado plástico. Índice de permeabilidad de 1/1.000.000 cm/s
- Adherencia a la madera y a materiales vegetales.
- Material estructural, con gran elasticidad: puede ser un de los mejores antisísmicos y permite adecuarlo para soportar tracciones. (ver normativa del ININVI, Perú). Supera la resistencia al colapso de las estructuras de hormigón armado. Para suelo de cemento³ según $E = 55.000 - 90.000 \text{ K/m}^2$ a los 7 días y $100.000 - 175.000 \text{ K/m}^2$ a los 90 días. El módulo de elasticidad dinámico es un 30-25% superior al E. de compresión. Módulo de Young $E = 10.000 \text{ a } 70.000 \text{ Kg/cm}^2$ ^u.
Resistencia compresión $\sigma_c = 10-100 \text{ Kp/cm}^2$, Tracción un 10%. Cortante $\tau = 1/8$ de la compresión.
La resistencia a compresión en estado húmedo desciende casi a la mitad, lo cual dependerá en gran medida del tipo y grado de estabilización empleado. Como referencia podemos diferenciar las siguientes tensiones de rotura en función del tipo de estabilizante empleado^u:
 $\sigma_c = 5-20 \text{ Kp/cm}^2$ tierra no estabilizada $\sigma_c = 40-100 \text{ Kp/cm}^2$ Cemento-Portland $\sigma_c = 35-85 \text{ Kp/cm}^2$ Cal y cemento $\sigma_c = 25-75 \text{ Kp/cm}^2$ Cal (17 Kp/cm^2 con un 7%. Habiterre 98)
 $\sigma_c = 20-50 \text{ Kp/cm}^2$ Asfaltos $\sigma_c = 10-20 \text{ Kp/cm}^2$ Fibras

La rotura en prensa no es nunca instantánea, rompe poco a poco, reordenándose sus moléculas, comprimiéndose. Aunque esté estabilizado, mantiene su estado plástico.
Flexión $\sigma_f = 3,57 (\sqrt{\sigma_c} / 7) \cdot 0,88$
Cortante $\tau = 0,18 S_f$

2.3 Propiedades ecológicas

- No requiere transporte o explotación de los recursos geológicos a través de canteras o yacimientos.

³ Evolução Pesquisas sobre solo-cemento. 1972. A. Brasileira C. Portland. Carlos de Souza Pinto.

- Es un material social al alcance de todo el mundo, con lo cual se abaratan costes. Permite trabajar con materiales autóctonos, sin necesidad de un gran desarrollo industrial o tecnológico.

- Se integra plenamente con el paisaje: el color de la tierra es el mismo que el de su entorno.

- **Minimiza los residuos y el consumo de energía** en la fabricación.

Comparativamente un bloque comprimido estabilizado al 6% con cal y tomado con mortero puzolánico de cal consume 452 Kwh, lo que representa casi un tercio de los 1134Kwh del ladrillo cocido tomado con mortero de cemento 1/4. En el caso del adobe el consumo se reduce entre 3 y 5 veces⁴. En Habiterre 98 se citó una reducción entre 10 y 15 veces respecto al bloque de concreto.

- Es 100% **reciclable**. Posibilita reciclar residuos de la construcción y agrícolas

- Permite un **ahorro energético** considerable en la vivienda y en su construcción si ha habido un buen diseño bioclimático previo. También en algunos casos podemos minimizar el consumo de agua potable para construir.

- Los inconvenientes principales son:

* físico-químicos (1.retracción 2.el agua 3.resistencia).

- económicos (se debería tecnificar y crear mayor aprendizaje).

* técnicos (control de calidad, responsabilidades, material heterogéneo).

⁴ Mud Village Society. New Delhi. Auroville Building Centre Building with compressed earth blocks. Aut. Serge Maini. Edit. Architect and Builder Vol.5 n°5 1995.

Análisis ecobioconstructivo sostenible sobre los principales materiales de construcción

Morteros de Cal

Los morteros que utilizan la cal como aglomerante han perdurado en el tiempo por sus buenas prestaciones arquitectónicas de resistencia química y física, y por su facilidad y simplicidad que presenta en el proceso de fabricación. Además actualmente destacamos su permeabilidad al vapor. Esta transpirabilidad lo hace un material más adecuado bioconstructivamente que el cemento portland. Aún es justificable la mezcla de arena calcárea, con cal y un poco de cemento blanco según P.Hung.

Un antiguo método de fabricación consiste en mezclar la cal recién apagada, preferentemente en terrones, con arena, en la proporción 1/3 y, después de agregarle el agua emplearla aún caliente para la construcción del muro, según Schröder-Speck.

Betún

Se recomienda la utilización de membranas bituminosas por fijación, para evitar humos tóxicos, en vez de asfálticas, ya que estas contienen alquitranes cancerígenos y en caliente provocan irritaciones.

El cemento

Su fabricación es extremadamente consumidora de la energía y además origina residuos de polvo y gas, en canteras que provocan un gran impacto ambiental. Provoca problemas en los pulmones por inhalación y en contacto con la piel causa irritación y quemadas. La bioconstrucción aconseja utilizar cemento blanco ya que su índice de radiación es menor. Su alto impacto ambiental implica que su utilización debería restringirse a elementos estructurales con un diseño de sección optimizada y alargar su durabilidad al máximo con contenidos de 300 kgr/m³ en los hormigones.

La madera.

El ciclo de vida natural de la madera reduce el efecto invernadero al convertir el dióxido de carbono en oxígeno y glucosa a través de la fotosíntesis. Es energía solar acumulada en forma de biomasa. Además las hojas reducen la temperatura ambiental y el albedo. Sólo en la pequeña Suiza se estima que el incremento anual de madera es de 6,5 millones de m³, 12 m³ por minuto, demostrando que es un recurso renovable.

Sus características técnicas son: aísla de 5 a 10 veces más que el hormigón y 1500 veces respecto al aluminio. Por su gran superficie específica, 200m²/cm³ transpira muy bien, regula la humedad y es regenerativa. Es poco radiactiva (edificio de madera: 80 milirehms/año, edificio de hormigón 204 mr/año).

No filtra ni descarga los iones de oxígeno tan necesarios para la vida. Sus pequeños iones enriquecen el aire limpiándolo de partículas de polvo y de bacterias. Las superficies de madera no se cargan electroestáticamente.

La madera no tratada, o la que ha sido tratada con productos naturales, no contiene productos tóxicos. Por ello para mantener esta cualidad en los derivados manufacturados, se deberán emplear adhesivos bituminosos naturales, magnesita cáustica, cola vegetal,

cola de huesos y cola de leche, sobretodo evitando las colas fenólicas y las de urea-formaldehído.

Es un material versatil por su buen comportamiento estructural, tanto a flexión como a compresión permitiéndole ser utilizado en elementos lineales o superficiales, tanto en estructura, fachadas, cubierta, cerramientos. Puede incluso ser utilizada en la matriz de otros materiales de origen mineral, en forma de serrín, viruta o armado: ladrillos refractarios, paneles aislantes (Heracklit, Celenit), encofrados perdidos (Fixolite), los Hormigones Terre-Paille o Leimbau

Su resistencia al fuego es más alta de lo que se cree, ya que la combustión no provoca colapsos como ocurre en las estructuras de acero o las de hormigón armado, así lo demuestran los índices de siniestralidad en los EE.UU.

El empleo ilimitado de la madera para construcción sólo encuentra una barrera en la disponibilidad sostenible del material y la certificación de su procedencia y explotación.

El corcho

Es un material natural constitutivo de la corteza del alcornoque/quercus suber⁵. Es un excelente aislante térmico (peso específico tipo térmico standar 95-140kg./m³, conductividad térmica 0,033/0,035 kcal.m/m²°C/hr. a 20°C/105kg/m³), y acústico (peso específico tipo acústico 85-100kg./m³), gracias al contenido de aire de su estructura celular, un cm³ contiene 40millones de poros. Es un corrector acústico polivalente y con mayor densidad es un extraordinario aislante a las vibraciones (peso específico tipo vibrático 170-190kg./m³), sin presentar deformaciones permanente bajo carga.

-Absorción acústica

frecuencias	125	250	500	1000	2000	4000	NCR
α	15	20	40	50	30	30	37.5

(%)_{e=5cm}

-Reducción de ruidos por impacto. aglomerado $\gamma = 100 \text{ kg/m}^3$ $e = 10\text{mm}$

Pavimento	Graves dB	Medios dB	Agudos dB
sin corcho	77	81	79
con corcho	77	70	40

Posee alta resistencia mecánica : resistencia a la rotura por flexión 1,4/2 kp/cm². Tracción 0,6/0,9 kp/cm². Soporta elasticamente elevadas presiones con recuperación inmediata y practicamente total una vez retirada la carga y sin sufrir deformaciones permanentes.

Deformación bajo presión 0,5 kp/cm² =0,7mm. Para 1kp/cm²=1,3mm (probetas 10x10x2,5cm); $\gamma = 110\text{kg/m}^3$). La deformación bajo carga estática que sufre el material es sensiblemente proporcional a su espesor y al logaritmo del tiempo a presión, cesando a los 100/200 días. Tiene un ventajoso e insólito comportamiento ante la humedad, ya que no absorbe agua por capilaridad, y en volumen es < 3%. además tiene la propiedad bioconstructiva de ser muy permeable al vapor de agua: 2-6gr. cm./24h. m². mm Hg. Empleado en trozos, el corcho es un material absorbente de las radiaciones (Schröder-Speck). Su estabilidad dimensional es muy grande (<0,3% a 22°C; 50% Hr a 32°C; o 90%

⁵ El corcho como material aislante. Aut. luis Velasco fernández. Dr. Ingeniero de montes. E.T.S Ing. de Montes

Hr). Tiene un ventajoso comportamiento al fuego ya que es difícilmente combustible, con una temperatura límite de utilización hasta 100°C, y no se desaglomera ni deforma en agua hirviendo. Presenta una gran resistencia a los agentes químicos, no se desaglomera ni deforma en CIH a 100°C. No es atacable por insectos, parásitos y microorganismos. Se aplica fácilmente y su empleo es económico, su sistema de fabricación está avalado por tecnología moderna y controles de calidad. Tiene una durabilidad excepcional. Tiene numerosas aplicaciones:

-confort ambiental y aislamiento para paredes, techos y suelos; aislamiento de vibraciones para suelos y maquinaria (tapetes antivibráticos o bandejas amortiguadoras, a situar entre forjados y placas de compresión; tapetes elásticos de soporte de bancadas); juntas de dilatación y discontinuidad elástica; puentes térmicos; conducciones (aislamiento térmico y de vibraciones, y prevención de condensaciones).

La piedra

Sólo se deberán utilizar las piedras naturales que tengan más durabilidad o las piedras artificiales que incorporen polvos y áridos sobrantes de la extracción de la piedra natural. Es un material no renovable, con un impacto irreversible en la naturaleza y un consumo de energía bastante alto, siendo reducible si se utiliza piedra local. La extracción puede originar polvo de sílice provocando enfermedades como la silicosis. El granito emite niveles altos de radón pudiendo causar cáncer de pulmón, por este motivo se aconseja utilizar piedra o áridos calcareos en las bioconstrucciones

Cuadro III

Resistencias de diferentes piedras sometidas a diversos esfuerzos, en kg/cm²

	Compresión	Tracción	Cortadura	Flexión
Calcárea blanda	100	9	35	50
Gres blando	200	5	10	20
Gres	500	10	30	50
Calcárea	500	25	40	60
Mármol	600	30	50	—
Pizarra	800	60	40	—
Basalto	800	80	40	—
Granito	900	30	50	100

Metales puros

Los metales no se deben utilizar en grandes superficies y de forma generalizada. Únicamente se admite su uso específico en la resolución de algunas soluciones técnicas, conjuntamente a las pertinentes medidas correctoras de aislamiento térmico y de derivación de campo electromagnético a toma de tierra con resistividad <10 Ohms. Según Pierre Robert Sabady las propiedades d

Acero

El acero de construcción debe contener hierro o acero del reciclaje. La unión de piezas debe de hacerse por atornillamiento para evitar los residuos tóxicos de la soldadura y facilitar el desmontaje de los elementos en caso de reutilización.

La extracción de sus materias primas tiene un impacto ambiental importante a parte de que las canteras están alejadas de los centros industriales, incrementándose el consumo de energía por el transporte, que añadido al de fabricación llega a ser excesivo. Los procesos de fabricación y tratamiento son polucionantes y originan productos tóxicos como en los niquelados.

Se debe utilizar siempre protegido con tratamientos no tóxicos para aumentar la durabilidad ante los agentes atmosféricos. Por ello no se aconseja la utilización de pinturas de minio de plomo, ya que la aplicación, reciclaje del metal base, y restos de pintura garantizan el control de éste metal pesado bioacumulativo.

Un posible tratamiento antioxidante sería la pintura Duro (Livos)⁶, exenta de plomo o cromatos, y compuesta en orden descendente por fosfato de cinc, mica, aceite de linaza cocido-colofonia, derivados alifáticos, greda, pigmentos minerales, talco, aceite de ricino, aceite de corteza de naranja (1%), secantes (octoato de calcio, circonio, cobalto), ácido silícico, lecitina de soja y aceite esencial de limón.

Con unas características similares podemos encontrar pinturas de acabado sobre metales como los esmaltes CANTO, para interiores con blanco de titanio, VINDO para exteriores y AIDU para radiadores con dióxido de titánio, y con el aceite de linaza, y la colofonia como componentes principales.

Aluminio

El aluminio de construcción tiene que estar compuesto de residuos reciclados del mismo material, ya que así la energía empleada sólo representa un 5% respecto a la utilizada en la fabricación a partir de la Bauxita. El consumo de energía en la extracción y transporte es enorme, 9 veces mayor que en el del acero y 35 veces mayor que en el cemento. La proporción del aluminio respecto al volumen de excavación es baja, y se originan residuos pesados. La durabilidad del material es alta pero hay que protegerlo del contacto con ácidos, sustancias alcalinas o corrosión bimetálica.

⁶ Ecopaint Ibérica S.L C/Montmany 25 08012 Barcelona. Tef. 93/2192319

Suelos. Composiciones base

Introducción al suelo.

El término suelo es conocido popularmente por agricultores como la tierra más o menos incoherente, con materia orgánica y susceptible de ser cultivada. Modernamente se desarrolla la ciencia de la edafología, entorno a éste, que explica su origen, evolución y características, particularmente desde el punto de vista químico y agrícola.

El suelo está constituido por rocas, una estructura porosa, agua higroscópica contenida en ésta, y biomasa.

Génesis

El origen del suelo puede explicarse por la fragmentación, transformación química y arrastre aluviónico de sus rocas. Lo pueden componer, rocas ígneas y metamórficas originadas a altas temperaturas y presiones, o rocas sedimentarias, mayoritarias en la corteza terrestre y que proceden de las anteriores. Los componentes de estas, en equilibrio a las temperaturas y presiones de origen, cuando afloran a la superficie se transforman en compuestos más estables, así tienden a disgregarse por meteorización y transformarse químicamente en otras sustancias, que veremos posteriormente en el capítulo de la génesis de las arcillas (Cap0 pág.48).

Los factores determinantes de estas acciones son : la acción del agua; el viento; los cambios térmicos; las atmósferas agresivas; acciones mecánicas de la biomasa; los ataques ácidos biológicos y del ácido carbónico.

Se pueden diferenciar **suelos autóctonos**, formados a partir de la roca in situ, y **suelos alóctonos**, originados sobre depósitos y formaciones superficiales, como terrazas fluviales, morrenas, etc., provenientes de lugares alejados.

Los factores edafogénicos que condicionan el desarrollo y evolución de los suelos son seis:

- Naturaleza mineralógica de la roca**, cuya textura está en función del tamaño de los fragmentos liberados por la meteorización, de la porosidad y de la permeabilidad.
- Periodo de alteración**. Este determina el grado de evolución del suelo. Así será un suelo maduro cuando los procesos edafogénicos han podido actuar durante un tiempo suficiente como para haber desarrollado un perfil en equilibrio con las condiciones ambientales y que, por tanto, cambiará poco en el futuro a no ser que se modifiquen aquellas condiciones. Por el contrario los suelos jóvenes o brutos son aquellos que aún no tienen bien diferenciados y formados los horizontes característicos del mismo, propios de su equilibrio (clímax). Este tiempo de maduración depende de las condiciones climáticas. En un clima tropical húmedo será de unas decenas de años, pero la mayoría de casos necesitará varios miles.
- Topografía**. Cualquier paisaje genera topoclimas y microclimas locales, los cuales representan diferenciaciones de precipitación y de vientos dominantes. También la topografía determina la erosionabilidad por la escorrentía de las aguas, en función del ángulo de pendiente, y de la influencia de la posición de la superficie freática libre. Como resultado a la variabilidad topográfica y consecuentemente de las divisorias interfluviales da lugar a los diferentes tipos de suelo. Entonces estas divisorias pasan a ser denominadas "catenas edáficas".
- El **Clima**, es el factor edafogénico más importante. Los elementos climáticos más influyentes en la edafogénesis son la temperatura y el balance hídrico. La primera condiciona la intensidad química del suelo y el segundo el grado de desarrollo de los

factores biológicos y de la dinámica de la fase líquida presente. En cuanto al índice pluviométrico, hay que tener en cuenta que un exceso de lavado del suelo lo empobrece de cationes metálicos de carácter básico. Además si se suman altas temperaturas, como ocurre en los climas tropicales, se fragmentan mayormente las rocas cuarcíticas por su cambio estructural o alotropía, dando lugar a la pérdida de SiO_2 , a lo que se suma la disolución del Aluminio por las condiciones ácidas del medio. Por el contrario en las regiones más áridas el ascenso capilar del agua determina la formación de costras y nódulos de Ca CO_3 y yeso, así como de eflorescencias salinas.

Estratigrafía: También cabe considerar que la estabilidad del substrato rocoso, de gran importancia en la geotecnia para cimentaciones, depende de: las estratificaciones inestables de pizarras, margas y argilitas, su alteración aumenta en función de la inclinación de los estratos respecto a la pendiente de la montaña, y de la circulación de agua por las discontinuidades de los estratos, en las que además se crean depósitos de sales (flores de manganeso) que aceleran los procesos de meteorización; también depende de las rocas cuaternarias contenidas en un medio blando. Son rocas carbonatadas (Travertino) generadas por exudación de sales en épocas secas de poco espesor, y que pueden romper fácilmente (denominada “Tortorà” en el Barcelonés y “Tapás” en el resto de Catalunya).

Fisuración Genética. Las rocas fisuradas en el proceso de formación son fácilmente alterables e inestables: basaltos en zonas volcánicas (Tenerife, Olot) cuarteados por el enfriamiento rápido, los frentes y laterales de morrenas (Pirineos) : materiales cuaternarios heterogéneos, como los travertinos mezclados con matriz cuaternaria de arcillas y limos (Ibiza).

Textura y estructura del suelo

La textura viene dada por la distribución de las diferentes partículas sólidas que constituyen un suelo. Ésta determina la capacidad de retención de agua y su permeabilidad. Paradójicamente los suelos arcillosos son los que pueden retener más agua en su seno, pero como sus poros e intersticios interparticulares están escasamente conectados entre sí, su permeabilidad es muy limitada, comportándose, pues, como un medio impermeable. Por el contrario los suelos arenosos no tienen capacidad de retención de agua y drenan fácilmente. Generalmente los constituyentes sólidos no quedan sueltos y dispersos, sino están más o menos aglutinados por las arcillas y los complejos órgano minerales, constituyendo agregados. Según la distribución espacial de éstos se distinguen estructuras laminares, prismáticas, en bloques angulosos y subangulosos, granulares, y columnares. Éstas influyen notablemente en la permeabilidad del suelo, ya que condicionan la fisuración y macroporosidad del mismo, así como su susceptibilidad frente a la erosión hídrica y eólica.

Se denominan horizontes a la serie de niveles horizontales caracterizados por una composición, textura, y consistencia específicos. Éstos se suceden verticalmente de forma ordenada sobre el material parental o roca madre sobre la evolucionan formando un perfil.

Los edafólogos distinguen tres niveles u "horizontes" fundamentales, completamente evolucionados, que desde la superficie del terreno hacia abajo son:

- **Horizonte A**, o zona de lavado vertical o eluviación, caracterizada por: color oscuro por la abundancia de materia orgánica y humus; permite y determina el paso del agua a su través hacia los otros horizontes; se compone de fragmentos minerales de tamaño fino y compuestos solubles, cuyo nivel de concentración varía en función del grado de lavado, influyendo notablemente en ello, las características climáticas de la zona; generalmente para la construcción en tierra, se deshechan los materiales de esta capa.

- **Horizonte B**, o zona de precipitación o iluviación: tiene un color más claro, debido a la ausencia de humus, en él se depositan todos los materiales arrastrados desde el horizonte superior, principalmente sustancias coloidales, arcillas, óxidos e hidróxidos metálicos y carbonatos; en éstas, es donde se forman los encostramientos áridos de calcáreas y las corazas lateríticas en suelos tropicales.

- **Horizonte C**, o roca madre, material parental o subsuelo: está constituido por la parte más alta del material rocoso in situ, sobre el que descansa el suelo más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la meteorización química incipiente, pero en el que aún pueden reconocerse claramente las características petrográficas originales del mismo.

Composición

Los suelos se componen de partículas sólidas y huecos. Los huecos pueden retener agua en mayor o menor medida de acuerdo con el tipo, forma, tamaño, y disposición de las partículas que condicionan la permeabilidad a través del tamaño de los poros. Del contenido de agua retenida dependen a su vez la deformabilidad y resistencia del suelo. Así podemos diferenciar:

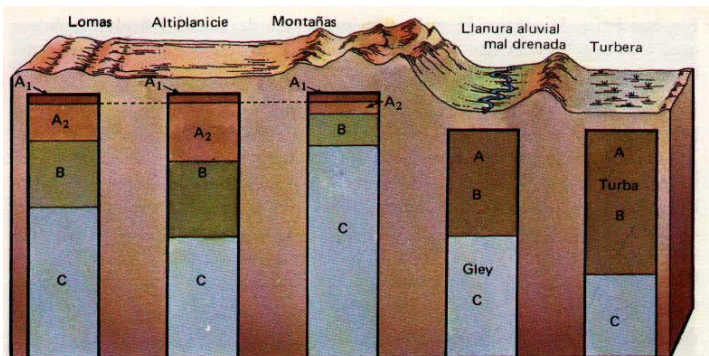


Fig. 1 Sucesión de perfiles de suelos en función de su génesis.

Los suelos de grano grueso o **arenosos** : son permeables; su comportamiento mecánico viene definido por el peso y rozamiento de sus partículas; su resistencia es función de la proximidad de éstas entre sí (densidad relativa); las deformaciones motivadas por la acción de las fuerzas exteriores se producen con rapidez.

Los suelos de grano muy fino, **arcillosos** : contienen huecos muy pequeños y son impermeables, por lo que retienen el agua; su comportamiento depende de la película de agua existente entre sus partículas; su resistencia depende del espesor de esta película, cuanto más gruesa es más débil es el suelo; las deformaciones son motivadas por la acción de las fuerzas exteriores, se producen muy despacio, ya que el paso de agua a través de los huecos es un proceso lento. Cabe los suelos problemáticos de **bentonitas**, arcillas expansivas ⁷ con un alto contenido de montmorillonita, formadas por la alteración química de cenizas volcánicas, que sufren grandes cambios dimensionales con la presencia de agua. Otra variante serían las **Margas**, término que identifica a las arcillas marinas calcáreas compactas, de color verde y marrón (ej.comarca del Vallés). Semejantes a las arcillas existe el **Bol**, que es una mezcla terrosa de Halosita e Hidróxido de Hierro, de colores pardo, amarillento o rojizo, untuosas al tacto, desprovistas, en general de plasticidad, con raya brillante. Se encuentran en las grietas de las rocas basálticas como producto metamórfico de contacto con areniscas abigarradas o granitos. Se asocian con tierras curativas y tierras colorantes (Siena natural, Sombra de levante, Ocran, o Bol amarillo). ¹⁶

Los **suelos limosos** : tienen un comportamiento intermedio ⁸. Los inorgánicos son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad. Generalmente se denominan polvo de roca, que se constituye de partículas más o menos equidimensionales de cuarzo. Contrariamente a lo que normalmente se cree, los limos también pueden ser plásticos si hay un porcentaje apreciable de partículas en forma de escamas. los loess son sedimentos eólicos uniformes y cohesivos, comunmente de color castaño claro. Sus partículas tienen un tamaño entre 0,01 y 0,05 mm., aglomeradas por un cemento natural de origen calcáreo o arcilloso. Presentan un estructura de agujeros verticales continuos, dejados por antiguas raíces, que provocan una mayor permeabilidad. Su fuerte cohesión permite mantener la verticalidad de los taludes. Se denominan “Tosca los suelos limosos en general, de origen eólico fluvial, con una fuerte impregnación calcárea, dándole gran compacidad. A veces se presenta una incrustación calcárea aislada en una base de loess - loam (tortora) ⁹ .

En todos ellos la fase sólida, representada por materiales minerales inorgánicos que constituye el suelo, destacan:

- Silicatos, tanto residuales o no completamente meteorizados, micas, feldspatos y fundamentalmente cuarzo, como productos de neoformación de la descomposición de los silicatos de la roca madre. Si tienen tamaño coloidal, se clasifican erróneamente como arcillas, a pesar de no presentar sus características físico-químicas.
- Filosilicatos, propiamente todos los minerales arcillosos, de los que hablaremos posteriormente. (Cap.0 pág.92)
- Óxidos e hidróxidos de Fe,(hematites, limonita, goetita) y de Al (gibbsita, boemita) liberados por el mismo procedimiento que en el caso de las arcillas y en íntima relación con él.

⁷ Arcillas expansivas: su estudio y patología. Aut. Yanes Bustamante, E. Edit. Cconsej. Obras Públicas. Junta Andalucía 1992.

Cementoaciones en arcillas expansivas, mecánica del suelo y cementoaciones. Aut. Serra Gesta, J. Edir. Fundación Escuela de la edificación 1986.

Mapa previsor de riesgos por expansividad de arcillas en España. Esc 1/1.000.000 Inst. geológico y Minero. Madrid 1986

Los suelos expansivos provocan asentamientos diferenciales, basculamientos, rotura de instalaciones, agrietamientos de arriostamientos, particiones y vallas.

⁸ Estructuras. Aut. A. Hotkinson Edit. Blume

⁹ Tortora o Caliche, son ciertas capas de suelo cuyos granos están cementados por carbonato cálcico, con espesores variables y formados en climas semiáridos.

-Clastos y granos poliminerales como materiales residuales de la alteración mecánica y la meteorización química incompleta de la roca originaria, de la que hay pequeños fragmentos representativos.

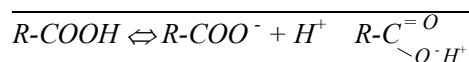
-Otros diversos compuestos minerales cuya presencia - ausencia y abundancia están condicionadas por el tipo concreto de suelo y su grado de evolución. De ellos hay que destacar los carbonatos (calcita, dolomita), sulfatos (yeso) y algunas otras sales como cloruros y nitratos. También hay que destacar los complejos orgánico-minerales, con gran importancia en el quimismo edafológico, producto coloidal de la combinación de las arcillas con los productos metabólicos y de descomposición de materia orgánica.

Los suelos negruzcos son propios de gran cantidad de humus, con mezcla de derivados nitrogenados (amoníaco, nitratos), hidrocarburos, celulosa, etc., de los cuales algunos tienen carácter de ácido orgánico denominados ácidos húmicos. Según el tipo de reacción ácido-base que predomina en el suelo, éste puede ser ácido neutro o alcalino, circunstancia que está determinada también en buena parte, por la naturaleza de la roca madre de que procede y que condiciona estrechamente el tipo de especies vegetales que puedan desarrollarse sobre el mismo.

La parte líquida o solución del suelo está formada por una disolución acuosa de las sales más comunes de los iones Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^- NO_3^- SO_4^- (ión sulfato) HCO_3^- (ión bicarbónico) y algunos otros minoritarios, así como una amplia serie de sustancias orgánicas.

La importancia de esta fase líquida (agua) estriba en que éste es el vehículo de transporte de las sustancias líquidas en el seno del sistema, así como en sus interacciones con la fase gaseosa. En concreto, cuando la saturación del suelo en agua es importante, absorbe la mayor parte de la fase gaseosa, CO_2 O_2 N_2 . Si los poros intersticiales del suelo están ocupados por la fase gaseosa del aire, entonces las condiciones son oxidantes. Esta fase gaseosa variará en función del consumo de O_2 y del CO_2 de los seres vivos y de las características atmosféricas.

En resumen la difusión del oxígeno del aire en el suelo produce Omega oxidación, en las cadenas alifáticas de las sustancias orgánicas, y como consecuencia se forman grupos funcionales moleculares ácidos, disminuyendo el pH. En las zonas más profundas del suelo se acentúa la ausencia de O_2 por la proliferación de microorganismos anaeróbicos, los cuales crean zonas de carácter fuertemente reductor. El hidrógeno protonizable del grupo carboxilo de los componentes orgánicos del suelo es el ácido que provoca este bajo pH en el medio.



grupo carboxílico que da lugar a pH cercano a 3

Tipos de suelos.

Los edafólogos¹⁴ los clasifican atendiendo a la zonalidad climática y dentro de ésta según el grado de evolución. Así podemos diferenciar :

-Suelos de altas latitudes o suelos de Tundra. Formación lenta limitada a los periodos estivales.

-Suelos de latitudes medias (climas fríos). Hay tres tipos:

Podsoles, tierras grises o de ceniza: reciben este nombre debido a la presencia de un horizonte ceniciento de iluviación de arcillas bajo la superficie del terreno. Se distribuyen en las zonas circunpolares y montañosas de las zonas templadas, originándose sobre depósitos glaciares y fluvio-glaciares, pleistocenos o formaciones periglaciares. El abundante humus ácido que posee actúa sobre las arcillas y facilita su lavado vertical, por lo que suelen ser suelos arenosos.

Tierras pardas forestales: son propias de climas más suaves con vegetación de bosque caducifolio. También ricos en humus, las arcillas sufren un lavado bastante activo y el horizonte B es casi inexistente.

Suelos grises: se forman en climas continentales, en zonas de tránsito entre el bosque caduco y la estepa. El color gris se debe a la pulverización de los granos puros de sílice que quedan en el horizonte A, tras el lavado de la arcilla. Pag.9

-Suelos de latitudes medias: climas templados y cálidos.

Suelos mediterráneos: están determinados por la duración de la sequía estival, si es de un mes tenemos tierras pardas, con dos o tres meses, suelos rojos mediterráneos y “terra Rosa”, con óxidos ferroso y férrico, pobres en humus y formados a expensas de la arcilla de decalcificación de las calizas, y por último con cinco o seis meses suelos canela con procesos de calcificación.

Chernozems o tierras negras: propias de climas continentales como de la Estepa Rusa y la Europa Oriental. En algunos casos están desarrollados sobre loess o material detrítico fino de características similares, y en el nivel A se produce una intensa acumulación de humus, carbonatos y óxidos de Fe, careciendo de horizonte B.

Suelos desérticos: son suelos poco evolucionados, desarrollados en los derrubios minerales resultantes de la alteración mecánica de la roca madre. Presentan eflorescencias superficiales salinas (diapiros) y casi no hay materia orgánica.

Suelos de latitudes intertropicales: están caracterizados por una intensa meteorización química que origina suelos de enormes espesores. Son suelos muy lavados con pH neutro o ácido donde la sílice se solubiliza, quedando los óxidos de Fe y Al en el perfil del suelo, lo que les confiere típicas tonalidades rojizas. Una variante son las lateritas o suelos ferralíticos sin horizonte A, y con una gran cantidad de hidróxidos de Fe y Al, y presencia de bauxitas que constituyen una crosta rojiza.

Suelos azonales y extraazonales: formados sin la influencia climática.

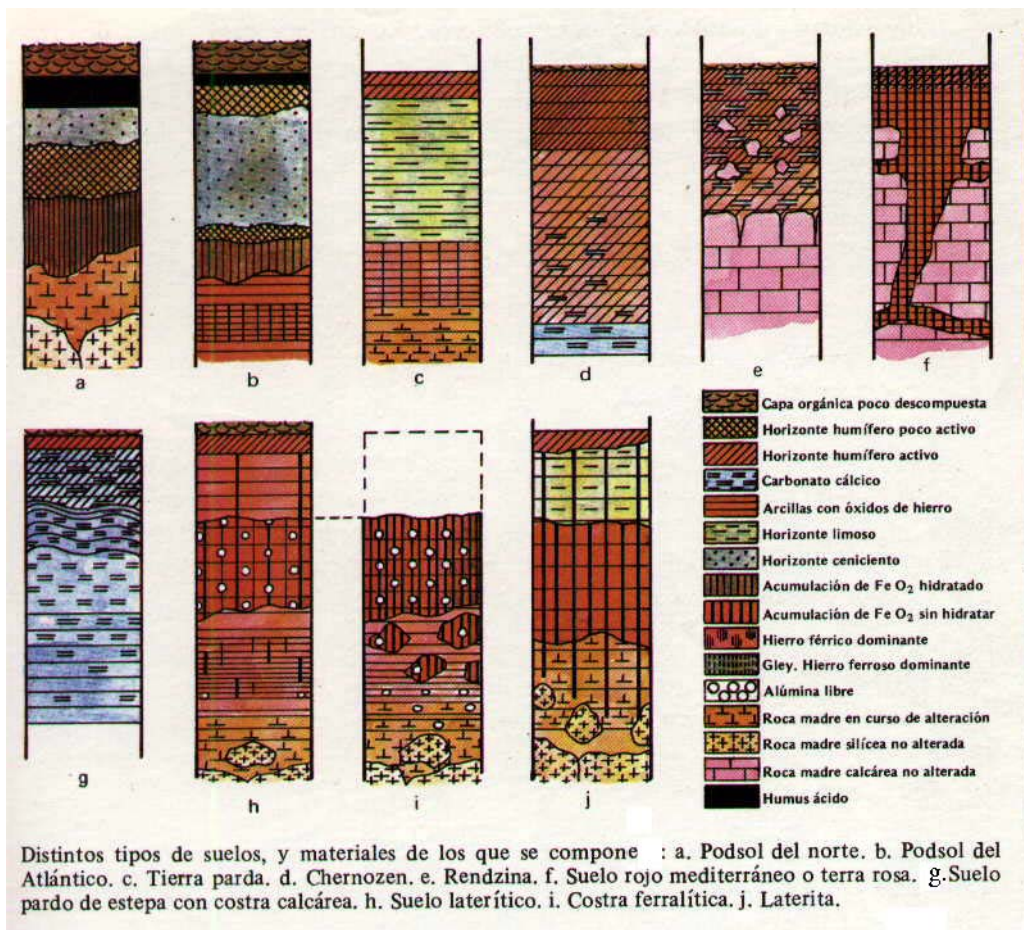
Suelos condicionados por la roca madre, destacan los calcimorfos formados sobre las calizas. La diferenciación de horizontes está poco marcada, tienen poco espesor. Debido a la escasa humedad tiene gran riqueza en bases alcalinas. Los dos tipos principales son la Rendzina, de color oscuro y sin horizonte B, y los suelos pardos calcáreos, con horizonte B desarrollado y mayor reserva de agua.

Sobre rocas silíceas, granitos y gneises fundamentalmente, los litosuelos más frecuentes son los ranker, sin horizonte B, espesor y muy poco evolucionados.

Suelos condicionados por el drenaje. Los suelos con lavado impedido llamados hidromorfos son ricos en humus y en los horizontes inferiores, permanentemente empaados, se acumula el Fe. Debido a la ausencia de fase gaseosa, principalmente de oxígeno, y posiblemente por la presencia de microelementos anaeróbicos, se produce la

reducción del Fe dando lugar a coloraciones grisáceas y verdosas características. Estos son los suelos Gley. Si las condiciones son más acentuadas, con más acidez y con vegetación de musgos y juncos, se forman suelos de turbera.

Suelos alomorfos. Con gran contenido de sales provenientes de la roca madre o de algún aporte exterior. Propios de climas áridos sin vegetación y sin lavado suficiente.



Granulometría

Se denomina composición granulométrica al conjunto de porcentajes en peso de los distintos tamaños que integran un suelo en relación con el peso total del mismo. Para conocer el tamaño exacto de las partículas del suelo se procede a un estudio granulométrico: las partículas grandes se identifican por tamizado hasta las 63 micras. Las de menor tamaño se identifican por sedimentometría basada en la ley de Stokes o bien por centrifugado.

Existen muchas diferentes clasificaciones, basadas en ciertas propiedades de los suelos, tales como granulometría, plasticidad, y resistencia. Casi todos los técnicos que practican la mecánica del suelo, emplean su criterio y experiencia personal para modificar el sistema de clasificación por ellos usado.

La mayoría se basan en la diferenciación de cuatro fracciones granulométricas: la fracción arena y grava se puede subdividir en fina, muy fina, gruesa; las gravas mayores de 64 mm. pueden denominarse como bloques; las arcillas suelen encontrarse en la fracción más pequeña del material del suelo, superando raramente las 4 micras de tamaño; y entre las cinco y setenta micras podemos encontrar los limos

La primera clasificación granulométrica la hizo Atterberg en 1905 y seguía un a progresión geométrica de razón 10.

tamaño mm.	2.000/200	200/20	20/2	2/0,2	0,2/0,02	0,02/0,002	<0,002
	bloques	cantos	gravas	arenas gruesas	arenas finas	limos	arcillas

Según la norma UNE se denominan áridos gruesos aquellos de cuyo tamaño de grano es superior a 5 mm. (Tamiz 5 UNE 7.050)

tamaño mm.	>320	320/160	160/80	80/40	40/20	20/10	10/7,50	7,50/5
	gravón morro	grava gruesa	grava media	gravilla	almendrilla	garbancillo	piñoncillo	arrocillo

Por tanto los áridos finos serán los menores a 5mm. con la siguiente terminología convencional.

tamaño mm.	5/2,5	2,5/1,25	1,25/0,6	0,63/0,3	0,32/0,1	0,16/0,0	0,08/0,0	<0,04
	arena gruesa	arena media	arena fina	arenilla	polvo	polvillo	limo-fillers	micelas-coloides

Clasificación granulométrica NTE-CEG.

tamaño mm	>63	63/20	20/6	6/2	2/0,6	0,6/0,2	0,2/0,0	<0,08
denominación	bolos	gravas gruesas	gravas medias	gravas finas	arenas gruesas	arenas medias	arenas finas	limos-arcillas

Clasificación granulométrica ASTM

tamaño mm	>63	63/20	20/6	6/2	2/0,6	0,6/0,2	0,2/0,0	<0,08
denominación	bolos	gravas gruesas	gravas medias	gravas finas	arenas gruesas	arenas medias	arenas finas	limos-arcillas

A estos macrofragmentos rocosos >63μ, comúnmente denominados áridos, pueden proceder de mina, de río o de costa. Los primeros son ásperos angulosos y de arista viva, pero raras veces exentos de impurezas y materia orgánica; cuando son finos y contienen arcilla se les llama arena de miga. Los áridos de río son de de grano redondeado y aristas romas, limpios y exentos de impurezas. Y los de costa son iguales pero bastante más finos y con presencia de sales marinas, alcalinas o magnésicas.

Los áridos participan, en cuanto a estructura, color y propiedades de los de la roca de que proceden. Los áridos artificiales de machaqueo ofrecen gran resistencia a la compresión, actuando como buenos agentes de transmisión y reparto de cargas, debido al rozamiento interno entre sus granos; por el contrario, los áridos redondeados naturales tienden a comportarse con deslizamiento interno, pues las superficies suaves y continuas que limitan cada grano lo favorecen. A pesar de ello el módulo de compresión es más progresivo en los áridos redondeados, frente a los angulosos o semiangulosos, que sufren una caída de tensiones cuando las esquinas rompen y se reorganizan las cargas.

Otra clasificación de gran interés para la geotecnia es la desarrollada por el Dr. Casagrande¹⁰. Una vez que se establece la identificación granulométrica, se completa con el gráfico de plasticidad basado en los ensayos del límite líquido y plástico. Éste relaciona el Índice de plasticidad IP con el límite líquido WL, a partir de la ecuación lineal :

Con los límites inferiores IP=4 e IP=7 y límite superior WL=50. Esta ecuación nos permite conocer el límite empírico entre las arcillas típicamente inorgánicas con la clasificación **CL** y **CH**, y los suelos plásticos que contienen coloides orgánicos **OL** y **OH**, o suelos limosos inorgánicos **ML** y **MH**. La línea vertical WL=50 separa limos y arcillas de límite líquido bajo L de los de límite líquido alto H.

Los suelos orgánicos sufren una disminución pronunciada de plasticidad después del secado al aire o en estufa, lo cual contrasta con la variación del 1-2% de los inorgánicos.

Nomenclatura de terrenos para excavaciones y materiales de construcción

UNE
24 013

1. Objeto

Esta nomenclatura se utilizará para la designación de las distintas clases de terrenos que se encuentren en excavaciones, tanto para la ejecución de obras de cualquier clase como para ser utilizados como materiales de construcción, con objeto de que los técnicos que hayan de intervenir en alguna operación que se ejecute sobre ellos puedan designar exacta y fácilmente el terreno de que se trate, tanto por lo que respecta a su origen como por lo que se refiere a la textura.

Se utilizará la misma nomenclatura, tanto si los productos destinados a materiales de construcción han de sufrir alguna transformación previa como si se han de utilizar en su estado primitivo.

2. Designación del terreno

El terreno que se trate de definir se designará por la letra o letras que figuran en el cuadro I, seguida del número que también se indica en el mismo.

El concepto de humedad relativa se indicará mediante los símbolos **H**, **h** y **seco**, que corresponderán a un grado de humedad grande, medio y nulo, respectivamente, y que figurará detrás de la letra y número correspondientes.

3. Significación de las letras y de los números

Obedecen a la agrupación de terrenos por orden de mayor a menor resistencia, de acuerdo con la clasificación que se indica en el cuadro II, cuyo orden corresponde solamente a este concepto, independientemente del origen y text

- A) Muy resistentes
- B) Resistentes
- C) Menos resistentes
- D) Rocas blandas
- E) Consistencia variada
- D-E) Carbones
- F) Terrenos incoherentes

4. Resistencia de diferentes piedras sometidas a diversos esfuerzos

En el cuadro III se indica, con el fin de conseguir la máxima utilidad práctica de esta norma, la tabla de resistencias obtenidas por las experiencias de Bauschinger sobre diferentes piedras, respetando literalmente las denominaciones originales.

El técnico que utilice esta norma deberá asimilar el producto obtenido en el terreno estudiado al más parecido cuadro redactado por Bauschinger, para conseguir el mayor conocimiento posible del producto. El resultado de asimilación no supondrá cambio alguno en la denominación, que será siempre la del cuadro I, y se acompañará indicación del grado de humedad que se ha definido en el capítulo 2.

Cuadro I

Agrupación de terrenos de acuerdo con su origen y textura

Origen		Composición		Denominación	Clasificación	
Rocas eruptivas o de origen interno	Textura cristalina o granítica	Feldespáticas ácidas, de más del 66 % de SiO ₂		Granito	A ₁	
		Anfibólicas neutras, entre el 55 y 66 % de SiO ₂		Pegmatita	A ₂	
		Piroxénicas básicas, entre el 45 y 52 % de SiO ₂		Sienita	A ₃	
		Peridóticas ultrabásicas, menos del 45 % de SiO ₂		Diorita	A ₄	
	Textura mixta	Gabbro		A ₅		
		Diabasa		A ₆		
		Peridotitas		A ₁₁		
		Feldespáticas y anfibólicas		Traquitas o andesitas	B ₁₆	
	Textura amorfa o vitrea	Piroxénicas		Oftitas	A ₈	
		Piroxénicas y peridóticas		Basaltos	A ₇	
Composición variable		Pórfidos	A ₉			
Feldespáticas		Obsidiana	D ₂₃			
		Pómez	D ₂₄			
		Tobas volcánicas	E ₂₀			
Rocas estratocristalinas o metamórficas				Gneis	B ₁₃	
				Micacitas	B ₁₅	
				Talcitas	B ₁₇	
				Pizarras cristalinas	B ₁₈	
				Calizas cristalinas	B ₁₄	
				Cuarzitas	A ₁₀	
Terrenos sedimentarios o de origen externo	Detriticas	Arenáceas	Sueltas o incoherentes	Arenas	F ₁₀	
			Conglomerados		Gravas	F ₁₁
			Areniscas		Cantos rodados	F ₁₂
				Brechas	E ₂₇	
				Pudingas	E ₂₈	
				Cuarzosas	C ₂₀	
				Silíceas	C ₂₁	
				Psamitas	C ₂₂	
				Calíferas	C ₂₃	
				Arkosa	C ₂₄	
			Arcillosa	C ₂₅		
	Arcillosas	Incoherentes		Tierras	F ₁₃	
				Barros	F ₁₄	
				Légamo	F ₁₆	
		Coherentes		Arcillas	E ₂₉	
			Pizarras	D ₂₉		
	Calcáreo-arcillosas		Margas		D ₂₇	
			Calizas arcillosas		D ₂₆	
Calcáreas		Calizas		C ₁₇		
		Dolomitas		C ₁₉		
Origen químico			Calizas concrecionadas	D ₂₀		
			Estalactitas	D ₂₁		
			Carbonato de hierro	D ₂₂		
			Carbonato de cinc	D ₂₅		
			Yeso	D ₂₆		
			Tobas	E ₁₀		
			Sal gema	E ₁₁		
		Sales potásicas	E ₁₂			
Origen orgánico	Animal	Silíceas		Tripoli	E ₁₁	
		Calcáreas		Calizas	E ₁₂	
		Fosfatadas		Guano	E ₁₃	
	Vegetal combustibles			Antracita	D-E ₁₄	
				Hulla	D-E ₁₇	
		Lignito		D-E ₁₈		
		Turba		D-E ₁₉		

Continúa

Cuadro II

Agrupación de terrenos por orden de resistencias

Clasificación		Denominación
Grupo	Número	
A (Muy resistentes)	1	Granito
	2	Pegmatita
	3	Sienita
	4	Diorita
	5	Gabbro
	6	Diabasa
	7	Basalto
	8	Ofitas
	9	Pórfidos
	10	Cuarcitas
	11	Peridofitas
B (Resistentes)	12	Gneis
	13	Micacitas
	14	Calizas cristalinas
	15	Pizarras cristalinas
	16	Traquitas
	17	Talcitas
C (Menos resistentes)	18	Calizas
	19	Dolomías
	20	Areniscas cuarzosas
	21	Areniscas silíceas
	22	Psamitas
	23	Areniscas calíferas
	24	Arkosa
	25	Areniscas arcillosas
D (Rocas blandas)	26	Calizas arcillosas
	27	Margas
	28	Carbonato de hierro
	29	Pizarras sedimentarias
	30	Calizas concrecionadas
	31	Estalactitas
	32	Carbonato de cinc
	33	Obsidiana
	34	Pómez
	35	Yeso
E (Consistencia variada)	36	Arcillas
	37	Brechas
	38	Pudingas
	39	Tobas volcánicas
	40	Tobas de origen químico
	41	Trípoli
	42	Calizas de origen orgánico
	43	Guano
	44	Sal gema
	45	Sales potásicas
D-E (Carbones)	46	Antracita
	47	Hulla
	48	Lignito
	49	Turba
F (Incoherentes)	50	Arenas
	51	Gravas
	52	Cantos rodados
	53	Tierras
	54	Barros
	55	Légamo



Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes¹

This standard is issued under the fixed designation D 2487; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This test method has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DOD Index of Specifications and Standards.

^{ε1} NOTE—Section 15 was added editorially in January 1989.

1. Scope

1.1 This test method describes a system for classifying mineral and organo-mineral soils for engineering purposes based on laboratory determination of particle-size characteristics, liquid limit, and plasticity index and shall be used when precise classification is required.

NOTE 1—Use of this standard will result in a single classification group symbol and group name except when a soil contains 5 to 12 % fines or when the plot of the liquid limit and plasticity index values falls into the crosshatched area of the plasticity chart. In these two cases, a dual symbol is used, for example, GP-GM, CL-ML. When the laboratory test results indicate that the soil is close to another soil classification group, the borderline condition can be indicated with two symbols separated by a slash. The first symbol should be the one based on this standard, for example, CL/CH, GM/SM, SC/CL. Borderline symbols are particularly useful when the liquid limit value of clayey soils is close to 50. These soils can have expansive characteristics and the use of a borderline symbol (CL/CH, CH/CL) will alert the user of the assigned classifications of expansive potential.

1.2 The group symbol portion of this system is based on laboratory tests performed on the portion of a soil sample passing the 3-in. (75-mm) sieve (see Specification E 11).

1.3 As a classification system, this test method is limited to naturally occurring soils.

NOTE 2—The group names and symbols used in this test method may be used as a descriptive system applied to such materials as shale, claystone, shells, crushed rock, etc. See Appendix X2.

1.4 This test method is for qualitative application only.

NOTE 3—When quantitative information is required for detailed designs of important structures, this test method must be supplemented by laboratory tests or other quantitative data to determine performance characteristics under expected field conditions.

1.5 The system is based on the widely recognized Unified Soil Classification System which was adopted by several U.S. Government agencies in 1952 as an outgrowth of the Airfield Classification System developed by A. Casagrande.²

1.6 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is*

the responsibility of whoever uses this standard to establish appropriate safety and health practices and to determine the applicability of regulatory limitations prior to its use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- μ (200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing³
- C 136 Method for Sieve Analysis of Fine and Aggregates³
- C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregates to Testing Size³
- D 420 Practice for Investigating and Sampling Soil for Engineering Purposes⁴
- D 421 Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Characteristics⁴
- D 422 Method for Particle-Size Analysis of Soils⁴
- D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Sedimented Materials⁴
- D 1140 Test Method for Amount of Material in Soil Finer than the No. 200 (75- μ m) Sieve⁴
- D 2216 Method for Laboratory Determination of (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mixtures⁴
- D 2217 Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Characteristics⁴
- D 2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)⁴
- D 4318 Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils⁴
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes³

3. Summary of Test Method

3.1 As illustrated in Table 1, this classification system identifies three major soil divisions: coarse-grained soils, fine-grained soils, and highly organic soils. These divisions are further subdivided into a total of 15 basic groups.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.07 on Identification and Classification of Soils.

Current edition approved Oct. 25, 1985. Published December 1985. Originally published as D 2487 - 66 T. Last previous edition D 2487 - 83.

² Casagrande, A., "Classification and Identification of Soils," *Transactions, ASCE*, 1948, p. 901.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

TABLE 1 Soil Classification Chart

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name ^B
Coarse-Grained Soils More than 50 % retained on No. 10 sieve	Gravels More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels Less than 5 % fines ^C	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Well-graded gravel ^F
			$Cu < 4$ and/or $1 > Cc > 3^E$	GP	Poorly graded gravel ^F
		Gravels with Fines More than 12 % fines ^C	Fines classify as ML or MH Fines classify as CL or CH	GM GC	Silty gravel ^{F,G,H} Clayey gravel ^{F,G,H}
	Sands 50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands Less than 5 % fines ^D	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Well-graded sand
			$Cu < 6$ and/or $1 > Cc > 3^E$	SP	Poorly graded sand ^I
		Sands with Fines More than 12 % fines ^D	Fines classify as ML or MH Fines classify as CL or CH	SM SC	Silty sand ^{G,H,I} Clayey sand ^{G,H,I}
Fine-Grained Soils 45 or more passes the No. 200 sieve	Silt and Clays Liquid limit less than 50	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J $PI < 4$ or plots below "A" line ^J	CL ML	Lean clay ^{K,L,M} Silt ^{K,L,M}
		organic	Liquid limit - oven dried Liquid limit - not dried < 0.75	OL	Organic clay ^{K,L,M,N} Organic silt ^{K,L,M,O}
	Silt and Clays Liquid limit 50 or more	inorganic	PI plots on or above "A" line PI plots below "A" line	CH MH	Fat clay ^{K,L,M} Elastic silt ^{K,L,M}
		organic	Liquid limit - oven dried Liquid limit - not dried < 0.75	OH	Organic clay ^{K,L,M,P} Organic silt ^{K,L,M,O}
	Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor		PT	Peat

<p>^E Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve.</p> <p>^F If field sample contained cobbles or boulders, or add "with cobbles or boulders, or both" to group name.</p> <p>^G Gravels with 5 to 12 % fines require dual symbols:</p> <ul style="list-style-type: none"> GW-GM well-graded gravel with silt GW-GC well-graded gravel with clay GP-GM poorly graded gravel with silt GP-GC poorly graded gravel with clay <p>^H Gravels with 5 to 12 % fines require dual symbols:</p> <ul style="list-style-type: none"> SM-SM well-graded sand with silt SM-GC well-graded sand with clay SP-GM poorly graded sand with silt SP-GC poorly graded sand with clay 	<p>$Cu = D_{60}/D_{10} \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$</p> <p>^F If soil contains ≥ 15 % sand, add "with sand" to group name.</p> <p>^G If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, or SC-SM.</p> <p>^H If fines are organic, add "with organic fines" to group name.</p> <p>^I If soil contains ≥ 15 % gravel, add "with gravel" to group name.</p> <p>^J If Atterberg limits plot in hatched area, soil is a CL-ML, silty clay.</p> <p>^K If soil contains 15 to 29 % plus No. 200, add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant.</p> <p>^L If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly sand, add "sandy" to group name.</p>	<p>^M If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly gravel, add "gravelly" to group name.</p> <p>^N $PI \geq 4$ and plots on or above "A" line.</p> <p>^O $PI < 4$ or plots below "A" line.</p> <p>^P PI plots on or above "A" line.</p> <p>^Q PI plots below "A" line.</p>
---	---	--

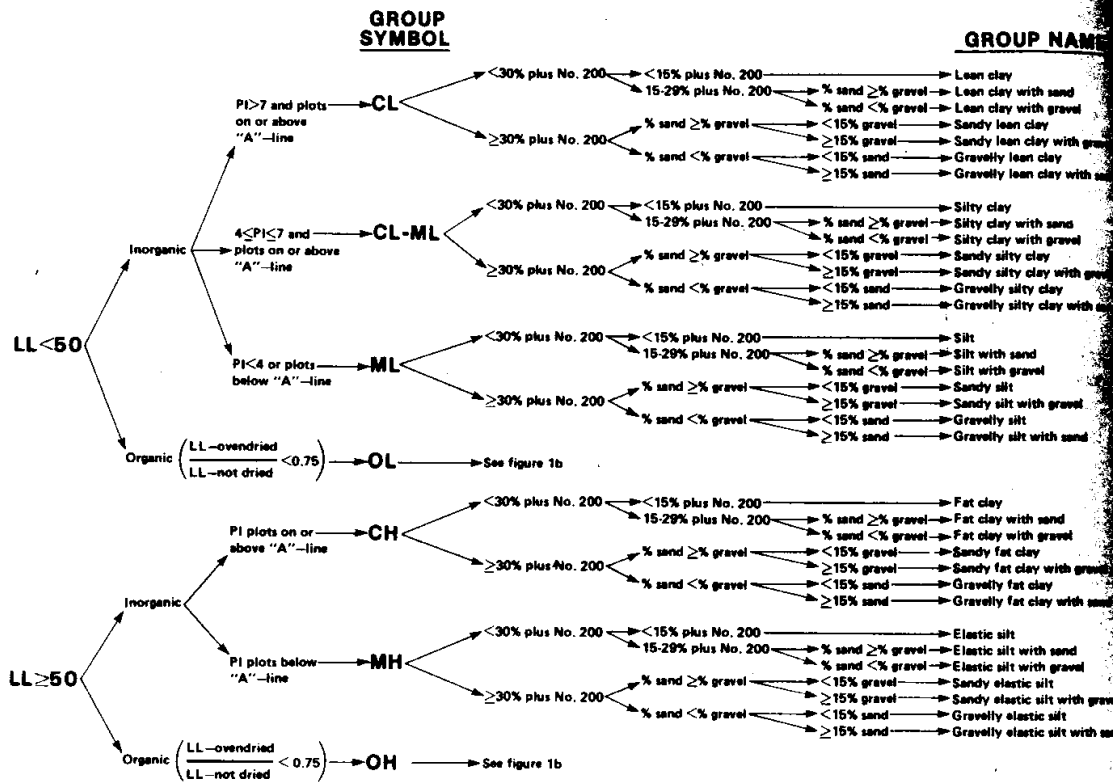


FIG. 1a Flow Chart for Classifying Fine-Grained Soil (50 % or More Passes No. 200 Sieve)

3.2 Based on the results of visual observations and prescribed laboratory tests, a soil is catalogued according to the basic soil groups, assigned a group symbol(s) and name, and thereby classified. The flow charts, Fig. 1 for fine-grained soils, and Fig. 2 for coarse-grained soils, can be used to assign the appropriate group symbol(s) and name.

4. Significance and Use

4.1 This test method classifies soils from any geographic location into categories representing the results of prescribed laboratory tests to determine the particle-size characteristics, the liquid limit, and the plasticity index.

4.2 The assigning of a group name and symbol(s) along with the descriptive information required in Practice D 2488 can be used to describe a soil to aid in the evaluation of its significant properties for engineering use.

4.3 The various groupings of this classification system have been devised to correlate in a general way with the engineering behavior of soils. This test method provides a useful first step in any field or laboratory investigation for geotechnical engineering purposes.

4.4 This test method may also be used as an aid in training personnel in the use of Practice D 2488.

5. Terminology

5.1 Definitions—Except as listed below, all definitions are

in accordance with Terms and Symbols D 653.

NOTE 4—For particles retained on a 3-in. (75-mm) U.S. standard sieve, the following definitions are suggested:

- Cobbles*—particles of rock that will pass a 12-in. (300-mm) square opening and be retained on a 3-in. (75-mm) U.S. standard sieve,
- Boulders*—particles of rock that will not pass a 12-in. (300-mm) square opening

5.1.1 *gravel*—particles of rock that will pass a (75-mm) sieve and be retained on a No. 4 (4.75-mm) standard sieve with the following subdivisions:

- Coarse*—passes 3-in. (75-mm) sieve and retained on 3/4 (19-mm) sieve, and
- Fine*—passes 3/4-in. (19-mm) sieve and retained on No. 4 (4.75-mm) sieve.

5.1.2 *sand*—particles of rock that will pass a No. 4 (4.75-mm) sieve and be retained on a No. 200 (75-μm) standard sieve with the following subdivisions:

- Coarse*—passes No. 4 (4.75-mm) sieve and retained on No. 10 (2.00-mm) sieve,
- Medium*—passes No. 10 (2.00-mm) sieve and retained on No. 40 (425-μm) sieve, and
- Fine*—passes No. 40 (425-μm) sieve and retained on No. 200 (75-μm) sieve.

5.1.3 *clay*—soil passing a No. 200 (75-μm) U.S. standard sieve that can be made to exhibit plasticity (putty-properties) within a range of water contents and that exhibits

GROUP SYMBOL

GROUP NAME

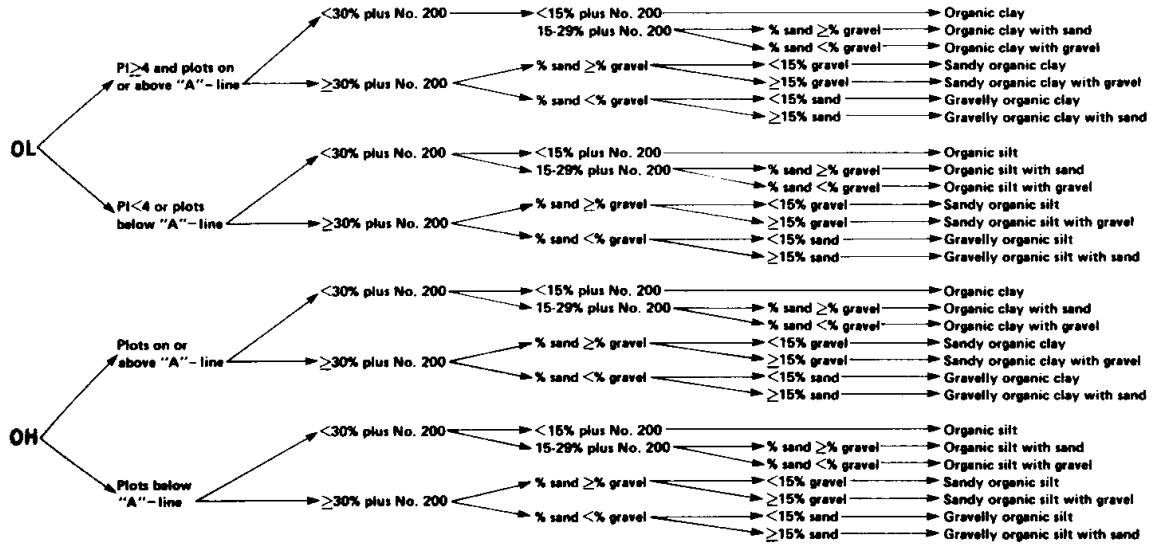


FIG. 1b Flow Chart for Classifying Organic Fine-Grained Soil (50 % or More Passes No. 200 Sieve)

GROUP SYMBOL

GROUP NAME

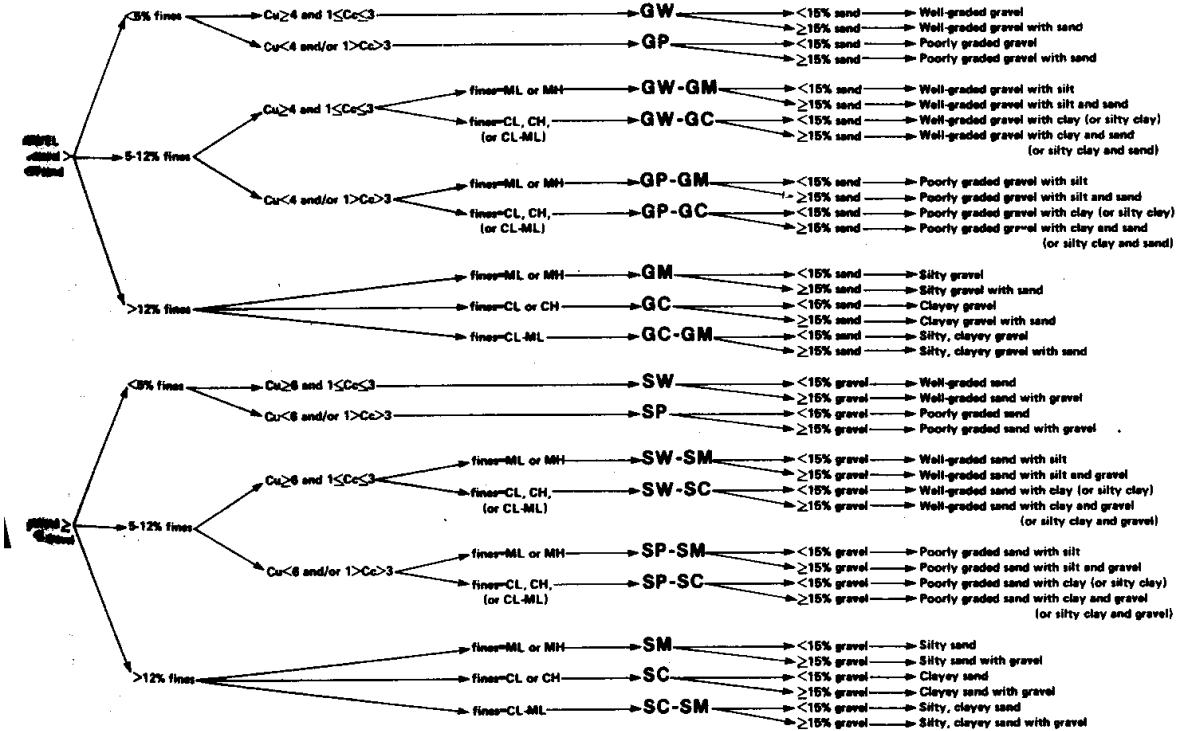


FIG. 2 Flow Chart for Classifying Coarse-Grained Soils (More Than 50 % Retained on No. 200 Sieve)

considerable strength when air dry. For classification, a clay is a fine-grained soil, or the fine-grained portion of a soil, with a plasticity index equal to or greater than 4, and the plot of plasticity index versus liquid limit falls on or above the "A" line.

5.1.4 *silt*—soil passing a No. 200 (75- μ m) U.S. standard sieve that is nonplastic or very slightly plastic and that exhibits little or no strength when air dry. For classification, a silt is a fine-grained soil, or the fine-grained portion of a soil, with a plasticity index less than 4 or if the plot of plasticity index versus liquid limit falls below the "A" line.

5.1.5 *organic clay*—a clay with sufficient organic content to influence the soil properties. For classification, an organic clay is a soil that would be classified as a clay except that its liquid limit value after oven drying is less than 75 % of its liquid limit value before oven drying.

5.1.6 *organic silt*—a silt with sufficient organic content to influence the soil properties. For classification, an organic silt is a soil that would be classified as a silt except that its liquid limit value after oven drying is less than 75 % of its liquid limit value before oven drying.

5.1.7 *peat*—a soil composed of vegetable tissue in various stages of decomposition usually with an organic odor, a dark-brown to black color, a spongy consistency, and a texture ranging from fibrous to amorphous.

5.2 *Descriptions of Terms Specific to This Standard:*
 5.2.1 *coefficient of curvature, C_c*—the ratio $(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$, where D_{60} , D_{30} , and D_{10} are the particle diameters corresponding to 60, 30, and 10 % finer on the cumulative particle-size distribution curve, respectively.

5.2.2 *coefficient of uniformity, C_u*—the ratio D_{60}/D_{10} , where D_{60} and D_{10} are the particle diameters corresponding

to 60 and 10 % finer on the cumulative particle-size distribution curve, respectively.

6. Apparatus

6.1 In addition to the apparatus that may be required for obtaining and preparing the samples and conducting the prescribed laboratory tests, a plasticity chart, similar to Fig. 3, and a cumulative particle-size distribution curve, similar to Fig. 4, are required.

NOTE 5—The "U" line shown on Fig. 3 has been determined to be the approximate "upper limit" for natural soils. A good check against erroneous data, and any test results that fall to the left of it should be verified.

7. Sampling

7.1 Samples shall be obtained and identified in accordance with a method or methods, recommended in Practice D 420 or by other accepted procedures.

7.2 For accurate identification, the minimum amount of sample required for this test method will depend on which of the laboratory tests need to be performed. Only the particle-size analysis of the sample is required for specimens having the following minimum dry weights required:

Maximum Particle Size, Sieve Opening	Minimum Specimen Dry Weight
4.75 mm (No. 4)	100 g (0.25 lb)
9.5 mm (3/8 in.)	200 g (0.5 lb)
19.0 mm (3/4 in.)	1.0 kg (2.2 lb)
38.1 mm (1 1/2 in.)	8.0 kg (18 lb)
75.0 mm (3 in.)	60.0 kg (132 lb)

Whenever possible, the field samples should have two to four times larger than shown.

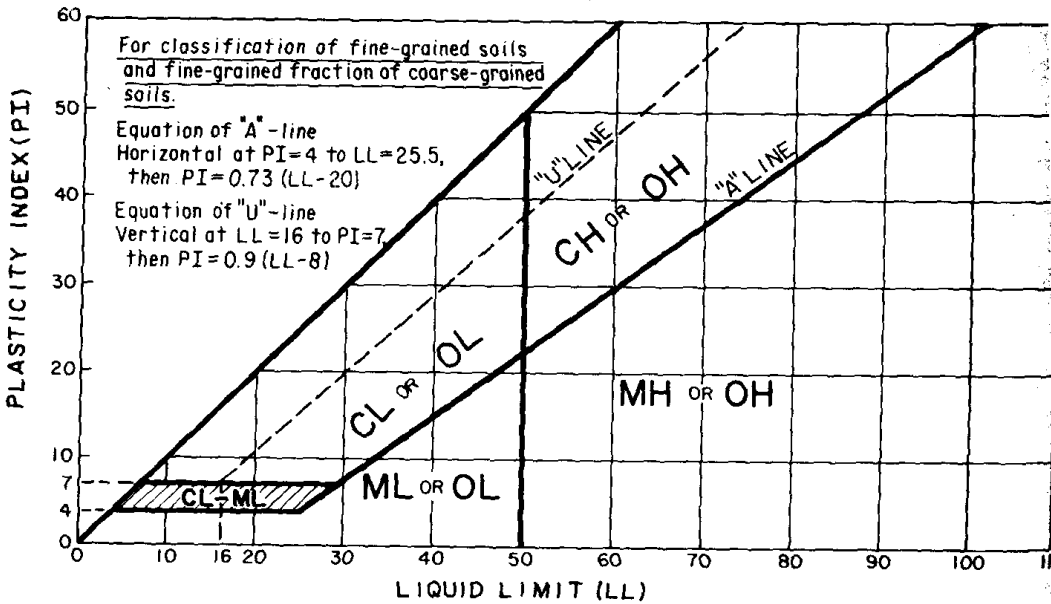


FIG. 3 Plasticity Chart

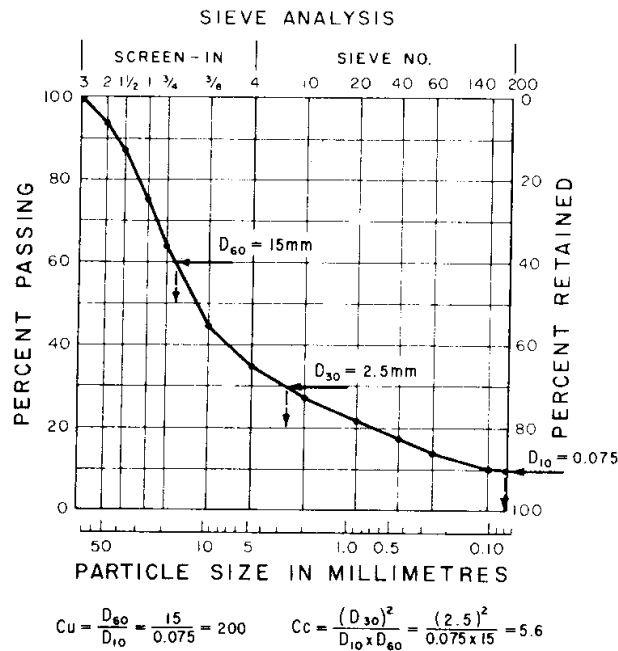


FIG. 4 Cumulative Particle-Size Plot

When the liquid and plastic limit tests must also be used, additional material will be required sufficient to give 150 g to 200 g of soil finer than the No. 40 (425- μ m)

If the field sample or test specimen is smaller than the amount recommended, the report shall include an appropriate remark.

Classification of Peat

A sample composed primarily of vegetable tissue in various stages of decomposition and has a fibrous to amorphous structure, a dark-brown to black color, and an organic matter content of 10% or more should be designated as a highly organic soil and shall be classified as peat, PT, and not subjected to the classification procedures described hereafter.

Preparation for Classification

Before a soil can be classified according to this test, generally the particle-size distribution of the minus 75- μ m material and the plasticity characteristics of the No. 40 (425- μ m) sieve material must be determined. 9.8 for the specific required tests. The preparation of the soil specimen(s) and the testing procedures for particle-size distribution and liquid limit and plasticity shall be in accordance with accepted standard procedures. The procedures for preparation of the soil specimens for soil classification purposes are given in Appendix X3 and X4. Appendix X3 describes the wet sieving method and is the preferred method for cohesive soils that have never dried out and for organic soils.

9.3 When reporting soil classifications determined by this test method, the preparation and test procedures used shall be reported or referenced.

9.4 Although the test procedure used in determining the particle-size distribution or other considerations may require a hydrometer analysis of the material, a hydrometer analysis is not necessary for soil classification.

9.5 The percentage (by dry weight) of any plus 3-in. (75-mm) material must be determined and reported as auxiliary information.

9.6 The maximum particle size shall be determined (measured or estimated) and reported as auxiliary information.

9.7 When the cumulative particle-size distribution is required, a set of sieves shall be used which include the following sizes (with the largest size commensurate with the maximum particle size) with other sieve sizes as needed or required to define the particle-size distribution:

- 3-in. (75-mm)
- 3/4-in. (19.0-mm)
- No. 4 (4.75-mm)
- No. 10 (2.00-mm)
- No. 40 (425- μ m)
- No. 200 (75- μ m)

9.8 The tests required to be performed in preparation for classification are as follows:

9.8.1 For soils estimated to contain less than 5% fines, a plot of the cumulative particle-size distribution curve of the fraction coarser than the No. 200 (75- μ m) sieve is required. The cumulative particle-size distribution curve may be plotted on a graph similar to that shown in Fig. 4.

9.8.2 For soils estimated to contain 5 to 15 % fines, a cumulative particle-size distribution curve, as described in 9.8.1, is required, and the liquid limit and plasticity index are required.

9.8.2.1 If sufficient material is not available to determine the liquid limit and plasticity index, the fines should be estimated to be either silty or clayey using the procedures described in Practice D 2488 and so noted in the report.

9.8.3 For soils estimated to contain 15 % or more fines, a determination of the percent fines, percent sand, and percent gravel is required, and the liquid limit and plasticity index are required. For soils estimated to contain 90 % fines or more, the percent fines, percent sand, and percent gravel may be estimated using the procedures described in Practice D 2488 and so noted in the report.

10. Preliminary Classification Procedure

10.1 Class the soil as fine-grained if 50 % or more by dry weight of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve and follow Section 11.

10.2 Class the soil as coarse-grained if more than 50 % by dry weight of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve and follow Section 12.

11. Procedure for Classification of Fine-Grained Soils (50 % or more by dry weight passing the No. 200 (75- μ m) sieve)

11.1 The soil is an inorganic clay if the position of the plasticity index versus liquid limit plot, Fig. 3, falls on or above the "A" line, the plasticity index is greater than 4, and the presence of organic matter does not influence the liquid limit as determined in 11.3.2.

11.1.1 Classify the soil as a *lean clay*, CL, if the liquid limit is less than 50. See area identified as CL on Fig. 3.

11.1.2 Classify the soil as a *fat clay*, CH, if the liquid limit is 50 or greater. See area identified as CH on Fig. 3.

NOTE 6—In cases where the liquid limit exceeds 110 or the plasticity index exceeds 60, the plasticity chart may be expanded by maintaining the same scale on both axes and extending the "A" line at the indicated slope.

11.1.3 Classify the soil as a *silty clay*, CL-ML, if the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls on or above the "A" line and the plasticity index is in the range of 4 to 7. See area identified as CL-ML on Fig. 3.

11.2 The soil is an inorganic silt if the position of the plasticity index versus liquid limit plot, Fig. 3, falls below the "A" line or the plasticity index is less than 4, and presence of organic matter does not influence the liquid limit as determined in 11.3.2.

11.2.1 Classify the soil as a *silt*, ML, if the liquid limit is less than 50. See area identified as ML on Fig. 3.

11.2.2 Classify the soil as an *elastic silt*, MH, if the liquid limit is 50 or greater. See area identified as MH on Fig. 3.

11.3 The soil is an organic silt or clay if organic matter is present in sufficient amounts to influence the liquid limit as determined in 11.3.2.

11.3.1 If the soil has a dark color and an organic odor when moist and warm, a second liquid limit test shall be performed on a test specimen which has been oven dried at $110 \pm 5^\circ\text{C}$ to a constant weight, typically over night.

11.3.2 The soil is an organic silt or organic clay liquid limit after oven drying is less than 75 % of the limit of the original specimen determined before oven drying (see Procedure B of Practice D 2217).

11.3.3 Classify the soil as an *organic silt* or *organic OL*, if the liquid limit (not oven dried) is less than 50. Classify the soil as an *organic silt*, OL, if the plasticity index is less than 4, or the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls below the "A" line. Classify the soil as an *organic clay*, OL, if the plasticity index is 4 or greater and the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls on or above the "A" line. See area identified as OL (CL-ML) on Fig. 3.

11.3.4 Classify the soil as an *organic clay* or *organic OH*, if the liquid limit (not oven dried) is 50 or greater. Classify the soil as an *organic silt*, OH, if the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls below the "A" line. Classify the soil as an *organic clay*, OH, if the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls on or above the "A" line. See area identified as OH on Fig. 3.

11.4 If less than 30 % but 15 % or more of the specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve, the words "with sand" or "with gravel" (whichever is predominant) shall be added to the group name. For example, lean sand with gravel, CL; silt with gravel, ML. If the percent of sand is equal to the percent of gravel, use "with sand."

11.5 If 30 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve, the words "sandy" or "gravelly" shall be added to the group name. Add the word "sandy" if 30 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve and the coarse-grained portion is predominantly sand. Add the word "gravelly" if 30 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve and the coarse-grained portion is predominantly gravel. For example, sandy lean clay, CL; gravelly fat clay, CH; sandy silt, ML. If the percent of sand is equal to the percent of gravel, use "sandy."

12. Procedure for Classification of Coarse-Grained Soils (more than 50 % retained on the No. 200 (75- μ m) sieve)

12.1 Class the soil as gravel if more than 50 % of the coarse fraction [plus No. 200 (75- μ m) sieve] is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve.

12.2 Class the soil as sand if 50 % or more of the coarse fraction [plus No. 200 (75- μ m) sieve] passes the No. 4 (4.75-mm) sieve.

12.3 If 12 % or less of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve, plot the cumulative particle-size distribution, Fig. 4, and compute the coefficient of uniformity, C_u , and coefficient of curvature, C_c , as given in Eqs 1 and 2.

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

$$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$$

where:

D_{10} , D_{30} , and D_{60} = the particle-size diameters corresponding to 10, 30, and 60 %, respectively, passing on the cumulative particle-size distribution curve, Fig. 4.

NOTE 7—It may be necessary to extrapolate the curve to obtain the D_{10} diameter.

12.3.1 If less than 5 % of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve, classify the soil as a *well-graded gravel*.

X1.1.5 *Poorly Graded Gravel with Silt, Sand, Cobbles and Boulders (GP-GM)*—78 % fine to coarse, hard, subrounded to subangular gravel; 16 % fine to coarse, hard, subrounded to subangular sand; 6 % silty (estimated) fines; moist, brown;

no reaction with HCl; original field sample had subrounded cobbles and 2 % hard, subrounded with a maximum dimension of 18 in.

X2. USING SOIL CLASSIFICATION AS A DESCRIPTIVE SYSTEM FOR SHALE, CLAYSTONE, SLATE, SLUG, CRUSHED ROCK, ETC.

X2.1 The group names and symbols used in this test method may be used as a descriptive system applied to materials that exist in situ as shale, claystone, sandstone, siltstone, mudstone, etc., but convert to soils after field or laboratory processing (crushing, slaking, etc.).

X2.2 Materials such as shells, crushed rock, slag, etc., should be identified as such. However, the procedures used in this method for describing the particle size and plasticity characteristics may be used in the description of the material. If desired, a classification in accordance with this test method may be assigned to aid in describing the material.

X2.3 If a classification is used, the group symbol(s) and group names should be placed in quotation marks or noted with some type of distinguishing symbol. See examples.

X2.4 Examples of how soil classifications could be incorporated into a description system for materials that are not naturally occurring soils are as follows:

X2.4.1 *Shale Chunks*—Retrieved as 2 to 4-in. shale from power auger hole, dry, brown, no reaction with HCl. After laboratory processing by slaking in water, material classified as “Sandy Lean Clay (CL)”—61 % fines, LL = 37, PI = 16; 33 % fine to medium gravel-size pieces of shale.

X2.4.2 *Crushed Sandstone*—Product of crushing operation; “Poorly Graded Sand with Silt (SM)”—91 % fine to medium sand; 9 % silty fines; dry, reddish-brown, strong reaction with HCl.

X2.4.3 *Broken Shells*—62 % gravel-size broken shells, 31 % sand and sand-size shell pieces; 7 % fines; classified as “Poorly Graded Gravel with Sand (GP-GM)”.

X2.4.4 *Crushed Rock*—Processed gravel and sand from Pit No. 7; “Poorly Graded Gravel (GP)”—69 % hard, angular gravel-size particles; 11 % coarse, hard sand-size particles, dry, tan; no reaction with HCl; $C_u = 0.9$.

X3. PREPARATION AND TESTING FOR CLASSIFICATION PURPOSES BY THE WET METHOD

X3.1 This appendix describes the steps in preparing a soil sample for testing for purposes of soil classification using a wet-preparation procedure.

X3.2 Samples prepared in accordance with this procedure should contain as much of their natural water content as possible and every effort should be made during obtaining, preparing, and transporting the samples to maintain the natural moisture.

X3.3 The procedures to be followed in this test method assume that the field sample contains fines, sand, gravel, and plus 3-in. (75-mm) particles and the cumulative particle-size distribution plus the liquid limit and plasticity index values are required (see 9.8). Some of the following steps may be omitted when they are not applicable to the soil being tested.

X3.4 If the soil contains plus No. 200 (75- μ m) particles that would degrade during dry sieving, use a test procedure for determining the particle-size characteristics that prevents this degradation.

X3.5 Since this classification system is limited to the portion of a sample passing the 3-in. (75-mm) sieve, the plus 3-in. (75-mm) material shall be removed prior to the determination of the particle-size characteristics and the liquid limit and plasticity index.

X3.6 The portion of the field sample finer than the 3-in. (75-mm) sieve shall be obtained as follows:

X3.6.1 Separate the field sample into two fractions on a 3-in. (75-mm) sieve, being careful to maintain the natural water content in the minus 3-in. (75-mm) fraction. Any particles adhering to the plus 3-in. (75-mm) particles shall be

brushed or wiped off and placed in the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve.

X3.6.2 Determine the air-dry or oven-dry weight of the fraction retained on the 3-in. (75-mm) sieve. Determine the total (wet) weight of the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve.

X3.6.3 Thoroughly mix the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve. Determine the water content, in accordance with Method D 2216, of a representative specimen of minimum dry weight as required in 7.2. Save the specimen for determination of the particle-size analysis in accordance with X3.8.

X3.6.4 Compute the dry weight of the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve based on the water content and (wet) weight. Compute the total dry weight of the sample. Calculate the percentage of material retained on the 3-in. (75-mm) sieve.

X3.7 Determine the liquid limit and plasticity index as follows:

X3.7.1 If the soil disaggregates readily, mix on a hard surface and select a representative sample by quartering in accordance with Methods C 702.

X3.7.1.1 If the soil contains coarse-grained particles coated with and bound together by tough clayey material, take extreme care in obtaining a representative portion of the No. 40 (425- μ m) fraction. Typically, a larger portion than normal has to be selected, such as the minimum weight required in 7.2.

X3.7.1.2 To obtain a representative specimen of a normally cohesive soil, it may be advantageous to pass the

through a 3/4-in. (19-mm) sieve or other convenient size so the material can be more easily mixed and then quartered or split to obtain the representative specimen.

X3.7.2 Process the representative specimen in accordance with Procedure B of Practice D 2217.

X3.7.3 Perform the liquid-limit test in accordance with Method D 4318, except the soil shall not be air dried prior to the test.

X3.7.4 Perform the plastic-limit test in accordance with Method D 4318, except the soil shall not be air dried prior to the test, and calculate the plasticity index.

X3.8 Determine the particle-size distribution as follows:

X3.8.1 If the water content of the fraction passing the 75-mm sieve was required (X3.6.3), use the water content specimen for determining the particle-size distribution. Otherwise, select a representative specimen in accordance with Methods C 702 with a minimum dry weight as required in 7.2.

X3.8.2 If the cumulative particle-size distribution in-

cluding a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Method D 422. See 9.7 for the set of required sieves.

X3.8.3 If the cumulative particle-size distribution without a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Method C 136. See 9.7 for the set of required sieves. The specimen should be soaked until all clayey aggregations have softened and then washed in accordance with Test Method C 117 prior to performing the particle-size distribution.

X3.8.4 If the cumulative particle-size distribution is not required, determine the percent fines, percent sand, and percent gravel in the specimen in accordance with Test Method C 117, being sure to soak the specimen long enough to soften all clayey aggregations, followed by Method C 136 using a nest of sieves which shall include a No. 4 (4.75-mm) sieve and a No. 200 (75-μm) sieve.

X3.8.5 Calculate the percent fines, percent sand, and percent gravel in the minus 3-in. (75-mm) fraction for classification purposes.

AIR-DRIED METHOD OF PREPARATION OF SOILS FOR TESTING FOR CLASSIFICATION PURPOSES

1.1 This appendix describes the steps in preparing a soil for testing for purposes of soil classification when air drying the soil before testing is specified or desired or when the natural moisture content is near that of an air-dried soil.

1.2 If the soil contains organic matter or mineral matter that are irreversibly affected by air drying, the preparation method as described in Appendix X3 should be used.

1.3 Since this classification system is limited to the material of a sample passing the 3-in. (75-mm) sieve, the plus 3-in. (75-mm) material shall be removed prior to the determination of the particle-size characteristics and the liquid limit and plasticity index.

1.4 The portion of the field sample finer than the 3-in. (75-mm) sieve shall be obtained as follows:

- 4.1 Air dry and weigh the field sample.
- 4.2 Separate the field sample into two fractions on a 75-mm sieve.
- 4.3 Weigh the two fractions and compute the percent of the plus 3-in. (75-mm) material in the field

X4.5 Determine the particle-size distribution and liquid limit and plasticity index as follows (see 9.8 for when these tests are required):

X4.5.1 Thoroughly mix the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve.

X4.5.2 If the cumulative particle-size distribution including a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Method D 422. See 9.7 for the set of sieves that is required.

X4.5.3 If the cumulative particle-size distribution without a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Test Method D 1140 followed by Method C 136. See 9.7 for the set of sieves that is required.

X4.5.4 If the cumulative particle-size distribution is not required, determine the percent fines, percent sand, and percent gravel in the specimen in accordance with Test Method D 1140 followed by Method C 136 using a nest of sieves which shall include a No. 4 (4.75-mm) sieve and a No. 200 (75-μm) sieve.

X4.5.5 If required, determine the liquid limit and the plasticity index of the test specimen in accordance with Test Method D 4318.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

SISTEMA CASAGRANDE DE CLASIFICACION DE SUELOS

GRUPOS PRINCIPALES		GRAFISMOS	LETRAS CLASIFIC.	DESCRIPCION DEL SUELO
SUELOS GRUESO GRANO	BOLOS Y CANTOS RODADOS		-	Gravas de bolos
	GRAVA Y SUELOS DE GRAVA		GW	Mezclas bien graduadas de grava y arena con pocos finos o sin ellos
			GC	Mezcla bien graduada de grava y arena con pequeña proporción de arcilla
			GU	Grava uniforme con pocos finos o sin ellos
			GP	Mezclas mal graduadas de grava y arena con pocos finos o sin ellos
			GF	Mezcla de grava y arena con exceso de finos
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS		SW	Arenas y arenas con gravas bien graduadas con pocos finos o sin ellos
			SC	Arenas bien graduadas con pequeña proporción de arcilla
			SU	Arenas uniformes con pocos finos o sin ellos
			SP	Arenas mal graduadas con pocos finos o sin ellos
SF			Arenas con exceso de finos	
SUELOS DE GRANO FINO	SUELOS DE GRANO FINO CON POCA PLASTICIDAD (LIMOS)		ML	Limos (inorgánicos) polvo de roca arenas finas limosas con ligera plasticidad
	SUELOS DE GRANO FINO CON PLASTICIDAD MEDIA		CL	Limos arcillosos (inorgánicos)
			OL	Limos orgánicos de baja plasticidad
	SUELOS DE GRANO FINO CON PLASTICIDAD ELE-VADA	Suelo con límites líquidos entre 35 y 50	MI	Arcillas limosas (inorgánicas) y arcillas arenosas
			CI	Arcillas (inorgánicas) de plasticidad media
		Suelos con límites líquidos mayores de 50	OI	Arcillas orgánicas de plasticidad media
			MH	Suelos micáceos o de diatomeas de elevada compresibilidad
SUELOS ORGANICOS FIBROSOS DE ELEVADA COMPRESIBILIDAD	Generalmente de color marrón o negro Muy compresibles Fáciles de identificar visualmente	CH	Arcillas (inorgánicas) de plasticidad elevada	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad elevada	
		Pt	Suelos turbosos u otros de alto contenido orgánico	

NOTA: Se utilizaran simbolos dobles para casos intermedios de clasificación

Norma 3 SISTEMA CASAGRANDE

DIVISIONES PRINCIPALES (8)	Smbolo principal (9)	SIMBOLO		NOMBRE (10)	VALOR PARA DIQUES Y PRESAS (12)	Permeabilidad cm/per (14)	CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION (16)	Densidad maxima Standard Proctor (100) γ_{max}	VALOR PARA CAMBIACIONES (18)	MODOS PARA REDUCIR LAS FUGAS (19)	
		(11)	Color (13)								
Suelos de grano fino	Limos y arcillas $LL > 50$		Azul	UV	Urtava bien graduada o arcilla gruesa con pocas o ninguna fibra $< 5/8$	Muy estables, espalmas firmes de diques y presas	$K > 10^{-2}$	Buenas, tractor, equipo sobre neumáticos, rodillos lisos de acero.	200-210	Capacidad de carga elevada.	Correctal por pantalla
				UW	Urtava mal graduada o arcilla gruesa con pocas o ninguna fibra $< 5/8$	Mezcladamente estables, espalmas permeables de diques y presas	$K > 10^{-2}$	Buenas, tractor, equipo sobre neumáticos, rodillos lisos de acero.	195-200	Capacidad de carga elevada.	Correctal por pantalla
				UM	Urtava finas, o mezclas grava-arena-fino	Mezcladamente estables, no muy permeables para diques y presas	$K > 10^{-3}$	Buenas, con control cuidadoso de agua de curar.	193-210	Capacidad de carga elevada.	De saque de pie o nada
				UC	Urtava arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla	Estabilidad pasible, pueden usarse para muros impermeables	$K > 10^{-6}$	Aceptables, equipo sobre neumáticos, rodillo de agua de curar.	181-209	Capacidad de carga elevada.	Ninguna.
				SM	Arenas bien graduadas o arenas con grava, con pocas o ninguna fibra	Muy estables, zonas principales de detención ser prolongan sus vidas	$K > 10^{-3}$	Buenas, tractor.	170-208	Capacidad de carga elevada.	Zanpuado agua arriba, drenaje de pie o presas de drenaje
				SP	Arenas mal graduadas o arenas con grava, con pocas o ninguna fibra	Mezcladamente estables, pueden utilizarse en diques con salidas tendidas.	$K > 10^{-3}$	Buenas, tractor.	160-192	Capacidad de carga elevada.	Zanpuado agua arriba, drenaje de pie o presas de drenaje
	Limos y arcillas $LL > 50$		Verde	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-fino	Estabilidad pasible, utilizables para muros impermeables para diques y presas	$K > 10^{-3}$	Buenas a malas, especialmente en control de agua de curar.	160-200	Capacidad de carga elevada.	Ninguna
				SL	Limos limpios y pesados, muy firmes, arcillosos con fibra plastificada	Buenos, estables, pueden utilizarse para diques y presas cuando se controlan debidamente	$K > 10^{-3}$	Buenas a malas, especialmente en control de agua de curar.	152-192	Muy mala, susceptible a fluctuación	De saque de pie o nada
				OL	Arcillas limpias de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenas o limosas y arcillas ligeras	Estables, malhas y amperage imprimibles	$K > 10^{-6}$	Aceptables a buenas, rodillos de agua de curar, equipo sobre neumáticos.	128-180	Capacidad de carga elevada a reducción	Ninguna.
				OH	Limos orgánicos y mezclas limo-arcilla orgánicos de plasticidad baja	Inadecuados para diques y presas	$K > 10^{-6}$	Aceptables a malas, rodillo de agua de curar.	122-132	Mala, capacidad de carga	Ninguna
				OH	Limos inorgánicos, suelos limos mal a poco o débiles, arcillosos o limosos y limos arcillosos	Poco estables, muchos de presas de retención hidráulica inadecuados en terraplenes constructivos por asentamiento	$K > 10^{-6}$	Mala a muy mala, rodillo de agua de curar.	100-108	Capacidad de carga elevada.	Ninguna
				OH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, limos orgánicos	Estabilidad pasible con buena resistencia	$K > 10^{-6}$	Aceptables a malas, rodillo de agua de curar.	104-100	Muy mala, capacidad de carga	Ninguna.
Suelos de estructura arenosa		Amarillo	UW	Urtava bien graduada o arcilla gruesa con pocas o ninguna fibra $< 5/8$	Muy estables, espalmas firmes de diques y presas	$K > 10^{-2}$	Buenas, tractor, equipo sobre neumáticos, rodillos lisos de acero.	200-210	Capacidad de carga elevada.	Correctal por pantalla	
			UW	Urtava mal graduada o arcilla gruesa con pocas o ninguna fibra $< 5/8$	Mezcladamente estables, espalmas permeables de diques y presas	$K > 10^{-2}$	Buenas, tractor, equipo sobre neumáticos, rodillos lisos de acero.	195-200	Capacidad de carga elevada.	Correctal por pantalla	
			UM	Urtava finas, o mezclas grava-arena-fino	Mezcladamente estables, no muy permeables para diques y presas	$K > 10^{-3}$	Buenas, con control cuidadoso de agua de curar.	193-210	Capacidad de carga elevada.	De saque de pie o nada	
			UC	Urtava arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla	Estabilidad pasible, pueden usarse para muros impermeables	$K > 10^{-6}$	Aceptables, equipo sobre neumáticos, rodillo de agua de curar.	181-209	Capacidad de carga elevada.	Ninguna.	
			SM	Arenas bien graduadas o arenas con grava, con pocas o ninguna fibra	Muy estables, zonas principales de detención ser prolongan sus vidas	$K > 10^{-3}$	Buenas, tractor.	170-208	Capacidad de carga elevada.	Zanpuado agua arriba, drenaje de pie o presas de drenaje	
			SP	Arenas mal graduadas o arenas con grava, con pocas o ninguna fibra	Mezcladamente estables, pueden utilizarse en diques con salidas tendidas.	$K > 10^{-3}$	Buenas, tractor.	160-192	Capacidad de carga elevada.	Zanpuado agua arriba, drenaje de pie o presas de drenaje	

NOFAS 1. Los valores de las columnas 7 y 11 se dan solo como orientación. El proyecto deberá basarse en los resultados de los ensayos.

2. Los equipos que se citan en la columna 9, proveerán las densidades requeridas de pasadas, cuando las condiciones de humedad y espesor de tongadas se controlen cuidadosamente.

3. Las unidades en seco, indicadas en la columna 10, se refieren a suelos compactados con la humedad óptima por el método Standard Proctor.

Norma 4 SIST.CASAGRANDE

Por otra parte, la velocidad con que la plastilla cambia su consistencia y con la que el agua seque y desparezca, define la intensidad de la reacción e indica el carácter de los finos del suelo.

- Las arenas finas uniformes y algunos limos inorgánicos tienen una reacción rápida.
- Cerchillos ligeros de arcilla coloidal, aunque algo de plasticidad al suelo, por lo que la reacción se ve un poco más lenta, siendo características de limos orgánicos ligeramente plásticos, arcillas muy limosas y arcillas esbeltas.
- Al disminuir la uniformidad del suelo, la reacción se hace menos rápida.
- Arcillas plásticas y orgánicas de alta plasticidad presentan una reacción extremadamente lenta.

4.2 Tenacidad (Opacidad, carácter del limo plástico).

Tomar una muestra de aproximadamente 1 cm³ y amasarla hasta que tenga una consistencia como la plastilla. Proceder a rodar el suelo en la palma de la mano (o en una superficie pulida) hasta que alcance un hilo de 3 mm de diámetro. Si al alcanzar este diámetro el hilo de suelo se fractura en varios pedruzcos, se habrá alcanzado el limo plástico. A mayor resistencia del hilo de 3 mm a tracción, más hacia arriba se encontrará el suelo en la escala de plasticidad con respecto a la línea A. Un hilo débil que se desmenuza fácilmente indica la presencia de limos o arcillas inorgánicas de baja tenacidad. Arcillas orgánicas son igualmente muy débiles pero se pueden sentir esponjosas en el limo plástico.

4.3 Resistencia al estado seco.

Amasar una porción de suelo hasta alcanzar la consistencia de una plastilla por vía de ir aumentando el contenido de agua necesaria. Permitir que el suelo se seque completamente al aire y proceder a medir su resistencia al ser comprimido o destrozado con los dedos. La resistencia seca aumenta con el aumento de la plasticidad. Altas resistencias secas son características de arcillas de alta plasticidad (OH), resistencias menores corresponden a arenas ML y CL y muy bajas o nulas serían los suelos OL y UL. Arenas finas, limos y suelos de arena y limo no tienen prácticamente ninguna resistencia seca.

4.4 Olor.

Los suelos orgánicos (OL, OH) tienen, por lo general, un olor característico que puede emplearse para su identificación, siempre el olor intenso si el suelo está húmedo, disminuyendo con la exposición al aire y aumentando con el calentamiento.

5. OBSERVACIONES.

Esta II puede ser reproducida por los organismos e instituciones para su divulgación y aplicación con la condición de mantener el reconocimiento su forma y contenido. Se incluyen solamente quien hace cada reproducción, lo que describirá al final del texto dictando: Reproducida por _____

Carácter científico o especificación relacionado con esta II, se agregará lo hagan libre de:

Ing. José A. Elías Hernández Ing. Nelson Navarro Campos
 ENIA-INDUS INV.
 Ave. San Francisco No. 9107 Apdo. 6157 - Zona Postal 6
 4/ Vento y Calle 16 Ciudad Habana.
 Altamira, Zona Postal 8 Ciudad Habana.

PROCEDIMIENTO PARA LA IDENTIFICACION DE SUELOS EN EL CAMPO (NO INCLUYE FRACCIONES MAYORES A 75 mm)				
SUELO DE GRANO GRUESO más de la mitad del suelo > al tamiz No. 200 (0.075 mm)	GRAVAS + 50% de la frac. gruesa es > TAMIZ No. 4	GRAVAS LIMPIAS (sin o con poco fino)	Amplio rango de tamaño de granos y considerables cantidades de todas las fracciones intermedias Predomina un tamaño de grano o un rango de partículas con la ausencia de algunas fracciones intermedias	
		GRAVAS CON FINOS (considerable cantidad de finos)	Finos no plásticos (ML) Finos plásticos (CL)	
	ARENAS + 50% de la frac. gruesa es < TAMIZ No. 4	ARENAS LIMPIAS (sin o con poco fino)	Amplio rango de tamaño de granos y considerables cantidades de todas las fracciones intermedias. Predomina un tamaño de grano o un rango de partículas con la ausencia de algunas fracciones intermedias.	
		ARENAS CON FINOS (considerable cantidad de finos)	Finos no plásticos (ML) Finos plásticos (CL)	
SUELO DE GRANO FINO más de la mitad del suelo < al tamiz No. 200 (0.075 mm)	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION PARA SUELOS MENORES AL TAMIZ No. 40			
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO < 50%	DILATANCIA	TENACIDAD	RESISTENCIA EN ESTADO SECO
		POCA O NULA	RAPIDA HASTA LENTA	NULA
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO > 50%	MEDIA A POCA	LENTA	POCA
		POCA A MEDIA	LENTA A NULA	POCA A MEDIA
ALTA A MUY ALTA		NULA	ALTA	
SUELOS MUY ORGANIZADOS		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	POCA A MEDIA
Fácilmente identificados por: olor, color, tacto esponjoso y frecuente textura esponjosa				

COMISION PARA EL DESARROLLO Y APLICACION DE SUELOS ESTABILIZADOS

CUBA
INV - MICONS
MINAZ-MINAGRI
CECAT - IPF

METODOLOGIA PARA LA IDENTIFICACION
DE SUELOS.

Instrucción
Técnica
IV-02-91
Junio 1991

1. INTRODUCCION.

Esta Instrucción Técnica establece los métodos y procedimientos para la identificación de los suelos en condiciones de campo, lo que constituye el primer paso en el proceso hacia la dosificación de mezclas de suelo-cemento para su empleo como material de construcción en edificaciones, obras viales, obras hidrotécnicas u otras construcciones.

2. IDENTIFICACION DE SUELO.

La identificación de un suelo, atendiendo a sus características físico-mecánicas, desempeña un importante papel en la formación de criterios técnicos que permitan dictaminar sobre su condición de suelo apto para mezclas de suelo-cemento u otras formas de estabilización.

En la tabla que se expone a continuación se consolida el sistema de identificación que ha de aplicarse.

Los suelos gruesos se identifican por el contenido de grava o arena contenido en una muestra representativa. La identificación de los suelos finos requiere mayor experiencia tacto-visual y el auxilio de la Carta de Plasticidad.

3. SUELOS GRUESOS.

El proceso de identificación requiere de las siguientes determinaciones:

3.1 Graduación.

Se extiende una porción del suelo sobre una superficie plana de color contrastante con el del suelo para apreciar las proporciones de los diferentes tamaños de granos (granulometría).

El suelo será bien graduado cuando presenta una continuidad significativa en proporción y cantidad similar en los diferentes tamaños.

3.2 Forma.

Se puede considerar las formas angulosas o las redondeadas. Se determina por apreciación tacto-visual.

3.3 Superficie.

La superficie será irregular o lisa. Se determina tacto visualmente.

4. SUELOS FINOS.

Se tendrá en cuenta los siguientes elementos para su identificación:

4.1 Dilatación. (Movimiento del agua de los poros como reacción al secado)

Prepara una pastilla de suelo húmedo de un volumen entre 1 a 3 cm³, empleando suficiente agua para que el suelo tenga una consistencia suave pero no pegajosa. Coloque la pastilla en la palma de una mano y con la otra golpee vigorosamente la misma. Si el suelo tiene un alto contenido de arcilla, limo o limo arenoso fino, la fuerza de inercia debido al golpeo provocará que el agua se mueva hacia la superficie de la pastilla dándole una apariencia brillante y húmeda. Cuando la muestra se amasa esta agua superficial desaparecerá. En suelos con altos contenidos de arcillas no habrá ninguna reacción en esta prueba.

COMISION PARA EL DESARROLLO Y APLICACION DE SUELOS ESTABILIZADOS

CUBA IIV - INIOP MINAZ - MINAGRI CECAT - IPF	SISTEMAS DE CLASIFICACION DE SUELOS PARA MEZCLAS DE SUELO CEMENTO	Instrucción Técnica IT-03-91 Junio 1991
---	--	--

1. INTRODUCCION.

Un sistema de clasificación de suelos consiste en el ordenamiento de los diferentes suelos en grupos que tienen propiedades similares, siendo su propósito dar facilidades para estimar las propiedades o aptitudes de un suelo por comparación -- con otros de la misma clase, cuyas propiedades se conocen y facilitar un método preciso para su descripción y comportamiento aproximado.

Se presentan los sistemas SUCS y AASHTO.

2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS).

Este sistema desarrollado por Casagrande, divide los suelos básicamente en gruesos y finos, dependiendo de la porción de suelo que pasa por el tamiz No. 200 - (0.074 mm).

Las partículas gruesas son mayores que dicho diámetro y las finas menores, por lo que se considera grueso un suelo si más del 50% de sus partículas en peso se retienen en el tamiz No. 200 y finos si más de la mitad pasa dicho tamiz.

El SUCS es útil en la clasificación de suelos para diferentes fines en la rama de la construcción y ha sido empleado con buenos resultados en la mayoría de los suelos cubanos. Algunos suelos tropicales como las lateritas, suelos de origen coralino-carbonatados, etc., no son bien agrupados por este sistema. Para el caso de mezclas de suelo cemento se excluyen los suelos P, MI, CH y se limita por razones económicas a los suelos CL. Véase la Tabla No. 1 y la Carta de Plasticidad.

3. SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO.

Este sistema de clasificación divide a todos los suelos en tres categorías: granular, cuando el 35% o menos, un peso, pasa por el tamiz No. 200 (0.074 mm); limo-arcilla, con más del 35% del material más fino que 0.074 mm y los suelos orgánicos.

Las dos primeras categorías se subdividen de acuerdo con sus características de graduación y plasticidad, como se indica en la Tabla No. 2. Los símbolos desde A-1 hasta A-7 se aplican a las clases de suelos.

Aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo y están representados por un determinado índice.

La clasificación de un suelo en un grupo se basa en su grado de plasticidad y en el porcentaje de material fino que pasa el tamiz No. 200. Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4, los limos y arcillas están entre 8 y 20. Cuando se indica un índice de grupo, hay que colocarlo entre paréntesis.

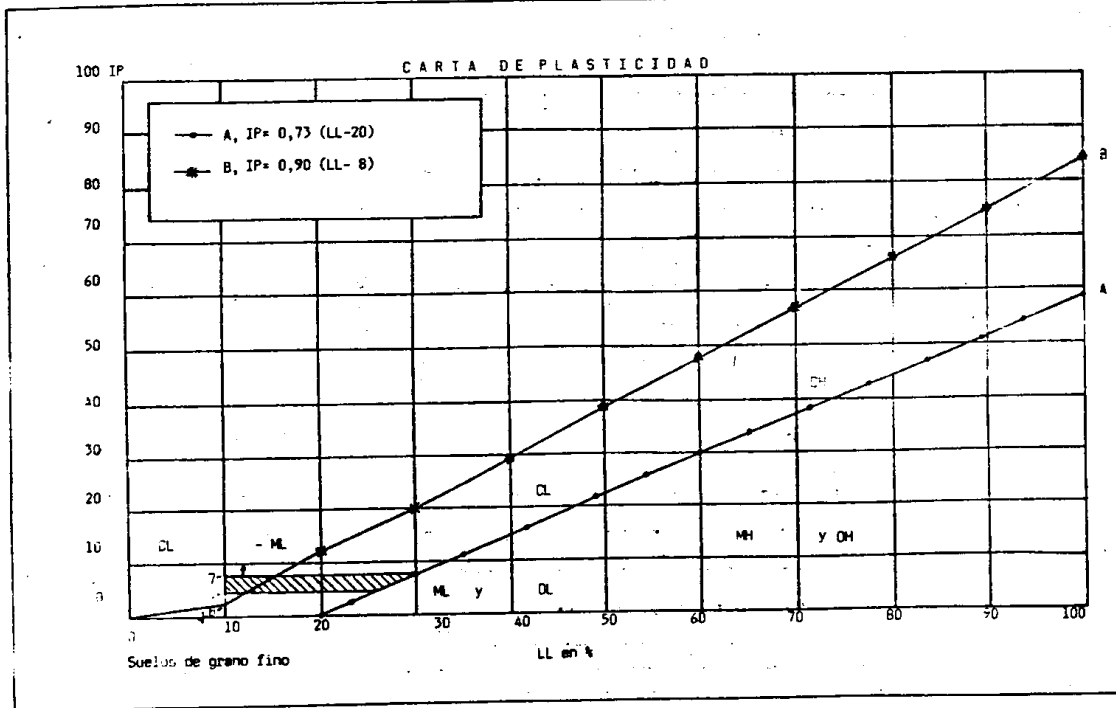
$$\text{Índice de grupo} = 0,2a + 0,005ac + 0,01bd$$

donde;

a = porcentaje que pasa el tamiz No. 200 comprendido entre 35 como mínimo y 75 como máximo. Se representará en número entero y variará entre 0 y 40.

$$a = \% \text{ tamiz No. 200} - 35$$

CLASIFICACION DE SUELOS POR EL SISTEMA AASHTO											
TABLA No. 2											
CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES (35% O MENOS PARA EL TAMIZ No. 200)						SUELOS FINOS (MAS DEL 35% PASA EL TAMIZ No. 200)				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	--	--	--	--	
SUBGRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	--	--	--	A-7-5 A-7-6	
% QUE PASA EL TAMIZ No. 10 (2.0 mm) 40 (0.42 mm) 200 (0.075 mm)	50 MAX 30 MAX 15 MAX	50 MAX 25 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	51 MIN 10 MAX	36 MIN	36 MIN	36 MIN	36 MIN
CARACTER DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ No. 40 LIMITE LIQUIDO IND. DE PLASTIC.	6 MAX		40 MAX 10 MAX	41 MAX 10 MAX	40 MAX 11 MIN MAX	41 MAX 11 MIN MIN	NP	40 MAX 10 MAX	41 MAX 10 MAX	40 MAX 11 MIN MIN	41 MIN 11 MIN
IND. DE GRUPO	0		0	4 MAX			0	8 MAX	8 MAX	16 MAX	20 MAX
TIPO DE MATERIAL	FRAGMENTOS DE PIEDRAS, GRAVA Y ARENA.		GRAVAS Y ARENAS LIMOSAS O ARCILLOSAS				ARENA FINA	SUELO LIMOSO		SUELO ARCILLOSO	
VALORACION	DE EXCELENTE A BUENO						DE REGULAR A MALO				
* EL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS A-7-5 ES IGUAL O MENOR A SU LIMITE LIQUIDO MENOS 30 EL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS A-7-6 ES MAYOR A SU LIMITE LIQUIDO MENOS 30.											



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)

TABLA No. 1

DIVISION PRINCIPAL	SIMBOLO DE GRUPO	CRITERIO DE CLASIFICACION DE LABORATORIO			
		Más Fino Tam. 200	Requis. Suplementarios	Descripción de Suelo	
SUELOS GRANULARES MAS DEL 50% EN PESO MAS GRUESO QUE EL TAMIZ No. 200	SUELOS GRAVOSOS + 50% DE LA FRAC. GRUESA > No. 4	GW	0-5*	D ₆₀ /D ₁₀ > 4, D ₃₀ /(D ₆₀ ×D ₁₀) entre 1 y 3	Gravas bien graduadas. Mezcla de arena-grava. Poco o nada de granos finos.
		GP	0-5*	Cuando no se cumplen las cond. para GW	Gravas pobremente graduadas, mezcla de arena y gravas. Poco o nada de partículas finas.
		GM	12 o Más	IP menor que 4 por debajo línea A.	Gravas limosas. Mezcla de grava, arena y arcilla
		GC	12 o Más	IP mayor que 7 por arriba línea A.	Gravas arcillosas. Mezcla de grava, arena y arcilla
	SUELOS ARENOSOS-50% DE LA FRAC. GRUESA MAS FINA No. 4	SW	0-5*	D ₆₀ /D ₁₀ > 6	Arenas bien graduadas. Mezcla de arena-grava. Poco o nada de finos.
		SP	0-5*	D ₃₀ /(D ₆₀ ×D ₁₀) entre 1 y 3	Arenas mal graduadas, mezcla de arena y gravas. Poco o nada de partículas finas.
		SM	12 o Más	IP menor que 4 por debajo línea A.	Arenas limosas. Mezcla de arena y limo
		SC	12 o Más	IP mayor que 7 por arriba línea A.	Arena arcillosas. Mezcla de arena y arcilla
SUELOS FINOS MAS DEL 50% EN PESO MAS FINO QUE EL TAMIZ No. 200	LIMOS Y ARCILLA Baja Compres. (LL < 50)	ML	GRAFICO DE PLASTICIDAD	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos y arcillosos ligeramente plásticos.	
		CL	GRAFICO DE PLASTICIDAD	Arcillas inorgánicas de baja-media plasticidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
		OL	GRAFICO DE PLASTICIDAD, OLOR Y COLOR ORGANICOS	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
	LIMOS Y ARCILLA Alta compres. (LL > 50)	ML	GRAFICO DE PLASTICIDAD	Limos inorgánicos, limos micáceos o distomeas, limos elásticos.	
		MH	GRAFICO DE PLASTICIDAD	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad arcillas francas.	
		OH	GRAFICO DE PLASTICIDAD, OLOR Y COLOR ORGANICOS	Arcillas inorgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS P				Humos y otros suelos altamente orgánicos	

* Para los suelos en los que pasan el tamiz No. 200 del 5 al 12% use un símbolo doble, como GW - GC

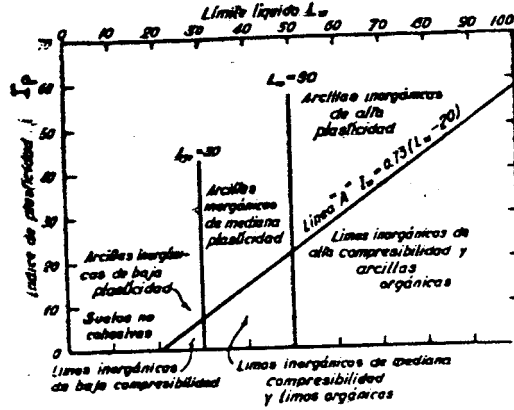


Fig. 5 Gráfico de las plasticidades (según A. Casagrande).

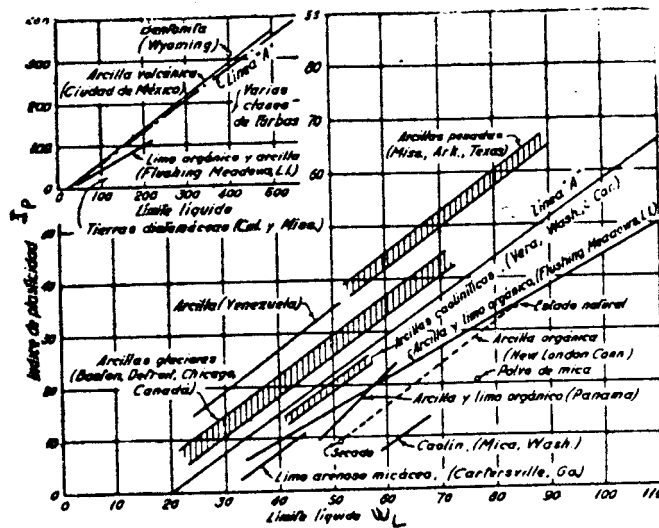
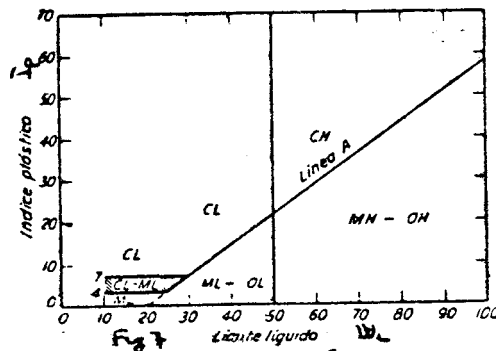


Fig. 6 Relación entre límite líquido e índice plástico para suelos típicos (según A. Casagrande).



La compacidad de los suelos es una cuestión capital para lograr, como veremos más adelante materiales resistentes. Esto depende de dos factores esenciales, la composición granulométrica y el grado de asentamiento.

La compacidad del suelo es la diferencia del volumen aparente de la medida que los contiene y el volumen de huecos existentes en la misma. O sea es la densidad aparente partido por la densidad real en %.

Fuller estableció que la máxima compacidad requiere de una composición granulométrica dada por la ecuación:

$$r (\%) = 100 (1 - \sqrt{d / D})$$

Expresión que puede representarse por una parábola que recibe el nombre de curva de Fuller Thomson, y en la cual r expresa, en porcentaje del total, el peso de cada uno de los tamaños de diámetro variable, d , de los granos del suelo, siendo D el diámetro máximo. Si la curva granulométrica de un suelo propuesto coincide con ésta se dice que su granulación granular es óptima; pero, dada la dificultad de que ésto ocurra, existen otras dos curvas, una superior y otra inferior, dentro de cuyos límites extremos se dice que el árido posee composición granulométrica utilizable. Según la composición de arenas, limos o arcillas utilizaremos un nombre genérico para el suelo. El triángulo de Féret, es un gráfico ternario que define claramente los grupos granulométricos.

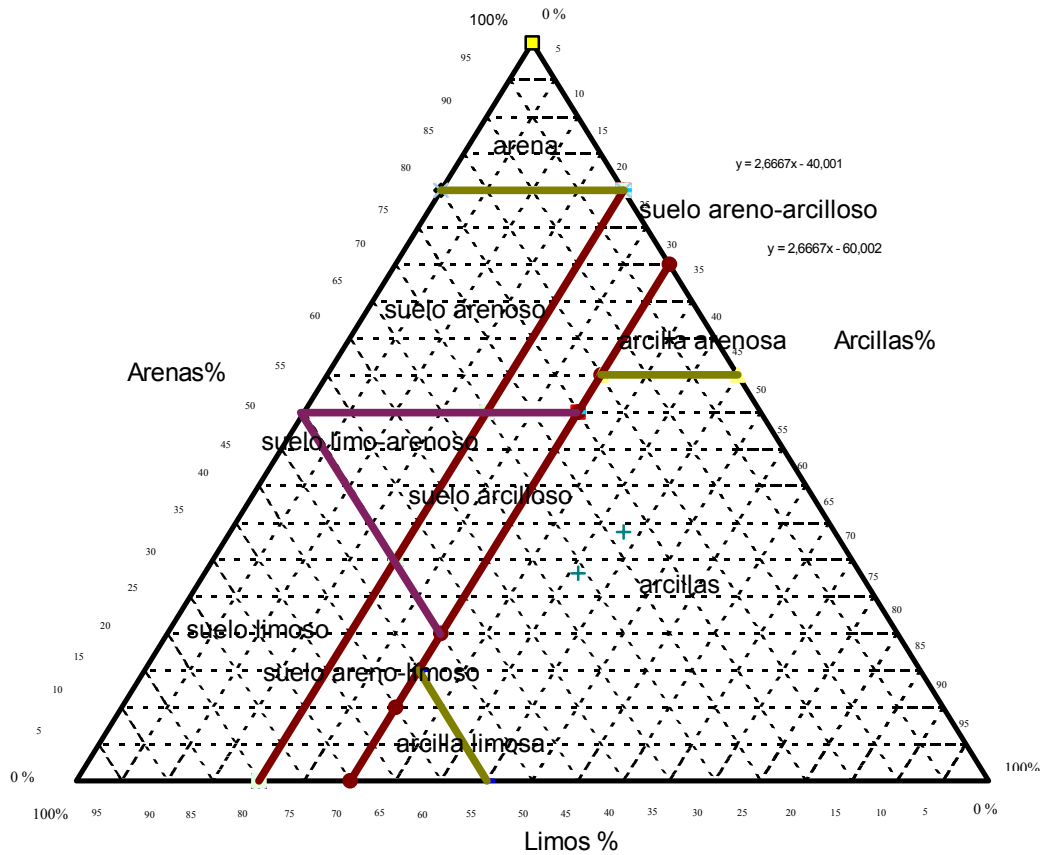


Fig 2. Triángulo de Féret de clasificación de los suelos según % de contenido de las tres principales secciones granulométricas

Las propiedades del suelo dependerán de la granulometría presente. En general, cuanto más fracción arcilla tenga, mejores propiedades plásticas tendrá. Sin embargo la existencia de fracciones gruesas realizan el papel de "árido", ayudando a la estabilidad del material.

El estudio de la permeabilidad de los suelos a partir de los resultados de los análisis mecánicos no han dado buenos resultados debido a que ésta depende directamente de la forma de los granos, la cual varía enormemente aunque las granulometrias sean parecidas.

Las relaciones entre propiedades y tipo de material son muy complejas y difíciles de definir "a priori". Las propiedades exactas del suelo no sólo dependen de su distribución de tamaños y contenido de arcillas, sino del tipo concreto de arcilla presente en el suelo.

La fracción arcilla es la definida por las partículas de tamaño inferior a una o cinco micras (según diversos autores), y que están dotados de propiedades plásticas, refractarias o absorbentes.

Desde el punto de vista mineralógico, las arcillas representan una compleja mezcla de diferentes silicatos de alúmina hidratados, cuarzo, feldspatos y micas, carbonato cálcico hidróxidos de hierro etc. los cuales según en que proporción se encuentren configurarán las propiedades de éstas.

Suelos, tapiales y adobes tradicionales

A nivel general las composiciones granulométricas de las tierras utilizadas para construir, que se dan por buenas, son: arcilla < 25-20%, arena > 45 %, aunque según la tecnología que se emplee puede variar tal como se expone a continuación.

Para la elaboración del BTC⁴ se ha establecido usualmente una granulometría óptima de suelo con contenidos del 15% de grava fina, 50% de arena, 15% de limo y 20% de arcilla, aunque según las características mineralógicas puede variar. Se ha considerado que es mejor un suelo arenoso que uno excesivamente arcilloso para elaborar los bloques comprimidos. Los cálculos de dosificación se han hecho en peso seco, haciendo su reconversión a volumétrica por medida de densidades.

El Cob se desarrolló en las islas Británicas, en Escòcia, Cornualles. Se utilizaba una tierra arenosa semigrasa, mezclada con fibras o vainas de cereales que le proporcionen una mayor flexibilidad y resistencia a la retracción de la propia arcilla para así evitar las fisuras.

Algunas otras composiciones óptimas que se han establecido actualmente son las que se dan seguidamente:

Según el grupo francés CRA-Terre:		según el grupo CONESCAL:	
Grava	0-15 %	Grava y arena	90 %
Arena	40-50 %	Limo	5 %
Limo	20-35 %	Arcilla	5 %
Arcilla	15-25 %		

El CRA Terre establece estos límites y unas curvas límite de la granulometría del suelo basadas en el análisis de varios tipos de tierras utilizados en Francia, que se describen a continuación.

Listado y procedencia de las muestras:

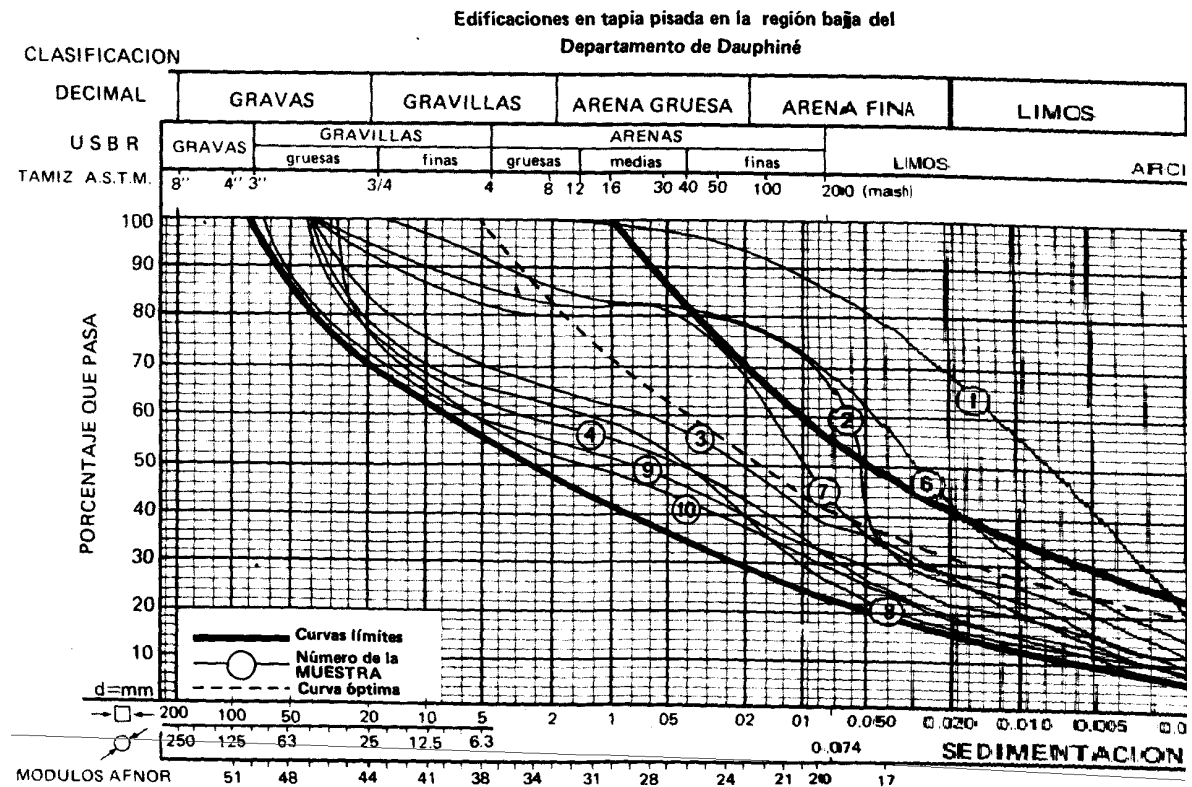
1- A orillas del Isere cerca de Tullins	Casa	En ruinas
2- Chambaran - St. Paul d'Izeaux	Granero	Mal estado
3- Chambaran - St. Paul d'Izeaux (Abadía)	Casa	Buen estado
4- Llanura de la Bievre	Granero	Muy bueno
6- Tierras frías - Eydoches	Casa	Buen estado
7- Tierras frías - Lindero construido	Casa	Buen estado
8- Tierras frías - St. Geoir en Valdaine	Granero	Muy bueno
9- Llanura de la Bievre - El Gran Lamps	Casa	Buen estado
10- Llanura de la Bievre - El Gran Lamps	Casa	En ruinas

Con excepción de las muestras No. 1 y No. 2, todas las curvas se sitúan dentro de los límites, coincidiendo con las conclusiones de nuestro estudio sobre la granulometría óptima.

La muestra No. 1, proviene de una casa en ruinas construida con una tierra limosa. Esta tierra no se utilizaba habitualmente en la construcción pues en esta zona, a orillas del Isere, se construía con cantos rodados o guijarros con relleno de mortero. Probablemente la

elección fue del constructor quien como conocía esta técnica la aplicó en un medio inadecuado.

La mala calidad de la muestra No.2 se debe probablemente a una mala selección de la cantera puesto que, habitualmente en la región de las tierras poseen buena granulometría. Esta construcción presenta signos de erosión.



No se utilizan tierras con grava y pedruscos, ya que aparte de ser más pesadas, con las lluvias se resquebrajan y la paja no traba con la tierra (tierra blancuzca gredosa, o de almagre, o de marga consistente).(* Vitrubio). Según CRA Terre [Error! Marcador no definido.](#) se pueden alcanzar dosificaciones del 30% de arcilla y un contenido relativo del 15 al 30% de agua para alcanzar una pasta plástica.

También podemos encontrar referencias a buenos suelos, para construir con tierra, atendiendo a sus características geológicas y edafológicas :

Yacimiento Neolítico Almería

Estas muestras corresponden al yacimiento arqueológico de Cabo de Gata, con adobes de más de tres mil años de antigüedad. En ellos puede verse como la materia orgánica ha fosilizado dejando un espacio intersticial. Se han detectado yacimientos de Delessita en Cabo de Gata.¹⁶

Debido a las características de la tierra, se ha analizado comparativamente dos muestras de Launa (muestra LA1 y 2) de las Alpujarras, muy rica en cloritas .

New Gourná Egipto

En el análisis de las tierras del grupo III aparecen los datos físico-químicos de esta tierra, obtenida de las viviendas de Hassan Fathy en New Gourná, y de adobes milenarios del templo de la reina Hatchetssup.

Kashbas Marruecos

Kashbas Ma.

Esta serie de muestras pertenecen a diferentes construcciones de de las antiguas Kashbes del Sud del Atlas, entre Ouarzazate y el valle del Dades (300 km. al sur de Marrakesh). Algunas con más de mil años de antigüedad, estaban construidas con tapieres y cubiertas planas de tierra argilosa, con alto contenido de óxidos férricos y costroso de cal, en algunos casos. Marruecos

Kasbah. Bou -Trara y Le Dar El Glaoua. Fotos de las construcciones de Ouarzazate al sur del Atlas en el marro, Kasbahs de donde se sacaron muestras Ma. para el estudio.

Francia

En la región de la Bièvre (región Nord-Dauphiné) los suelos de formación **miocénica** dan excelentes tapias. También las regiones del Dauphiné y del Aubergne poseen suelos **cuaternarios de origen glaciar o aluvial** excelentes para la realización de tapias. ^{¡Error!}
Marcador no definido.

En el Noroeste francés, en la Bretaña, se utilizan para el tapia informe, cap. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. pag. ¡Error! Marcador no definido., le Bauge, tierras pliocénicas en contacto con los esquistos de Brioverien y los ricos limos eólicos cuaternarios.

España

Vitrubio en su segundo libro de la arquitectura describe la siguiente composición del adobe:

“no se han de hacer de barro arenoso ni pedregoso. Porque los tales son pesados, y si se mojan estando en el edificio luego se deshacen y se caen, y la paja que en ellos se hecha por la aspereza de la tierra no se pega, mas anse de hacer de tierra blanca, gredosa, o de tierra colorada, o de tierra arenisca macho, porque estos géneros de tierra por ser livianos tienen firmeza... anse de hacer en tiempo de primavera o en otoño para que se sequen”.

Varios autores¹¹ describen los tipos de tierra a utilizar para el tapial en las zonas de Tierra de Campos y León:

“que han de ser centenales, un poco silíceas,...”

“deben emplearse tierras arenosas graduadas con arcilla que actúa de conglomerante del 15-20%. En su preparación se dejan al intemperie para que los rigores del clima maten cualquier resto de materia orgánica. El agua empleada no debe superar el 12% del peso de la tierra empleada.”

Las arcillas plásticas, que varían según la cantidad de hierro, son grisáceas, amarillentas o rojizas y aún negras, debido a la presencia de sustancias bituminosas. Se utiliza en cerámica y alfarería, y son muy abundantes en muchos lugares de España: las rojizas de Tierra de Bados, Badajoz; las launas moradas y los sargados blanco-amarillentos del sur-este; las arcillas plásticas talcosas o tierras blancas de pizarras silúricas del centro y sur-oeste de la Península.

Las arcillas refractarias, muy plásticas, de color blanco amarillento y a veces negruzcas, proceden de la alteración de los granitos, y contienen interpuestos cuarzo y mica: tierra o barro de Zamora; las silicio-magnesianas de las betas de piritita de Huelva, procedentes de la descomposición de los pórcidos.

Las arcillas esmécticas o tierra de bataneros son blandas, homogéneas, suaves al tacto, color grisáceo verde o negruzco; no forman pasta coherente con el agua : tierras del vino de Lebrija, Sevilla; Glauconifera de Segovia; Garlitos, Extremadura; Terrassa y Manresa, Barcelona.

Las Gredas, mezcla de arcillas plásticas y Esmécticas, muy silíceas, ásperas al tacto y muy consistentes al humedecerse.

Las margas son arcillas muy calizas donde el carbonato cálcico llega al 50%.

¹¹ *La arquitectura humilde de un pueblo del páramo leonés.* Aut. Fernández Balbuena, G. Edit. *Arquitectura*, IV, 38. 1922.
Palomares de barro de Tierra de Campos. Aut. Roldán Morales, F.P. Edit. *obra cultural de la Caja de Ahorros Prov. Valladolid.* 1983

Los barros ¹² más aprovechables son los ricos en arcilla grasa, que, en presencia del agua, se coloidizan adquiriendo cohesión al secar. El barro es el conglomerante más simple y primitivo, y su endurecimiento se debe a un proceso mixto de evaporación del agua de amasado que favorece la acción de los geles coloidales propios de la arcilla y a la absorción por la misma de cationes alcalinos o alcalino-terreos que dan lugar a silicatos y aluminatos resistentes y estables.

Por cuestiones de economía de medios, suele aprovecharse las tierras más próximas, pero debe preferirse aquellas en que abunden las tierras vivas, es decir, mezclas de arcilla y arena que respondan, aunque groseramente, a las leyes granulométricas (ver capítulo), mejorándolas por adición de "garrofos", restos de tapias antiguos, convenientemente desmenuzados.

El Equipo de Investigación sobre construcción de bajo coste del Instituto Eduardo Torroja en varios estudios describe con bastante detalle los tipos de suelos utilizados en el Centro de la Península para la elaboración de adobes tradicionales. Como análisis químico se da la siguiente tabla:

	NAVAPALOS	CIADUEÑA	ALCALA CHILOECHES	Alcala	Chiloeches
Pérdida por calcinación a 1.100° C...	18,59	3,52	4,47	7,58	4,50
Sílice (SiO ₂).....	47,86	81,30	68,07	49,98	66,73
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃).....	2,08	2,20	4,33	8,37	5,51
Oxido de Titanio (TiO ₂).....	0,29	0,39	0,60	0,76	0,86
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃).....	8,50	9,38	15,30	20,59	15,62
Oxido de Magnesio (MgO).....	1,23	0,42	1,81	7,59	1,49
Oxido de Calcio (CaO).....	19,20	1,32	2,05	0,73	1,60
Oxido de Sodio (Na ₂ O).....	0,09	0,22	0,70	0,69	0,40
Oxido de Potasio (K ₂ O).....	1,59	1,51	2,88	3,38	2,83

Fig 3 composición química de tierras del centro de la Península Ibérica (ver [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#))

DRX

¹² *Materiales de construcción I y II aut. Antonio Camuñas. Edit. Latina. Madrid 1980.*

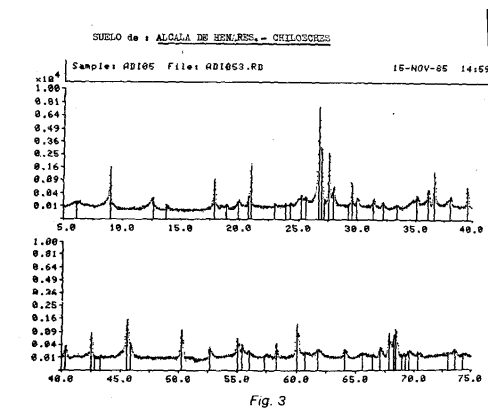


Fig. 3

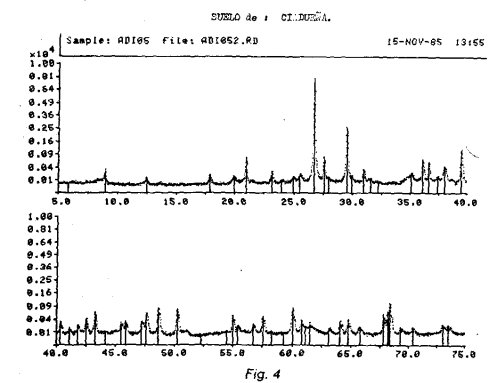


Fig. 4

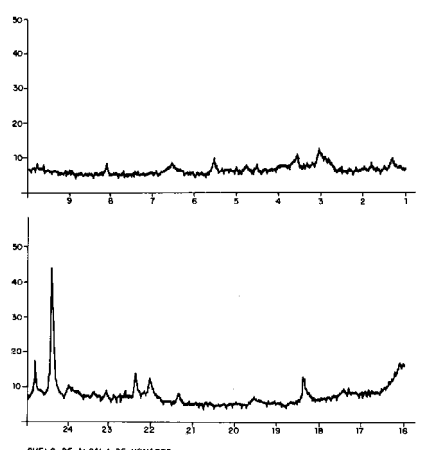
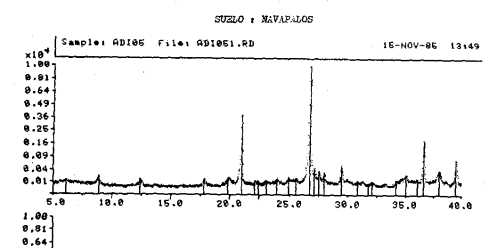


Fig. 1

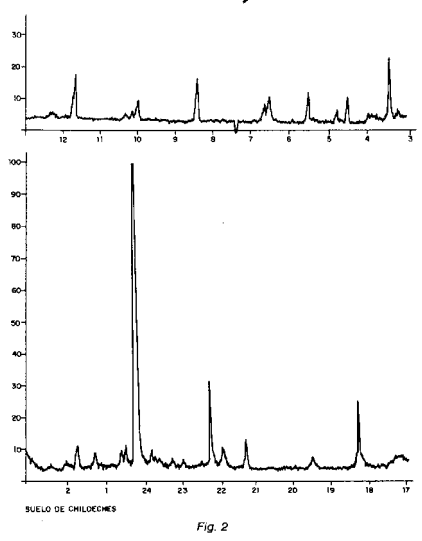


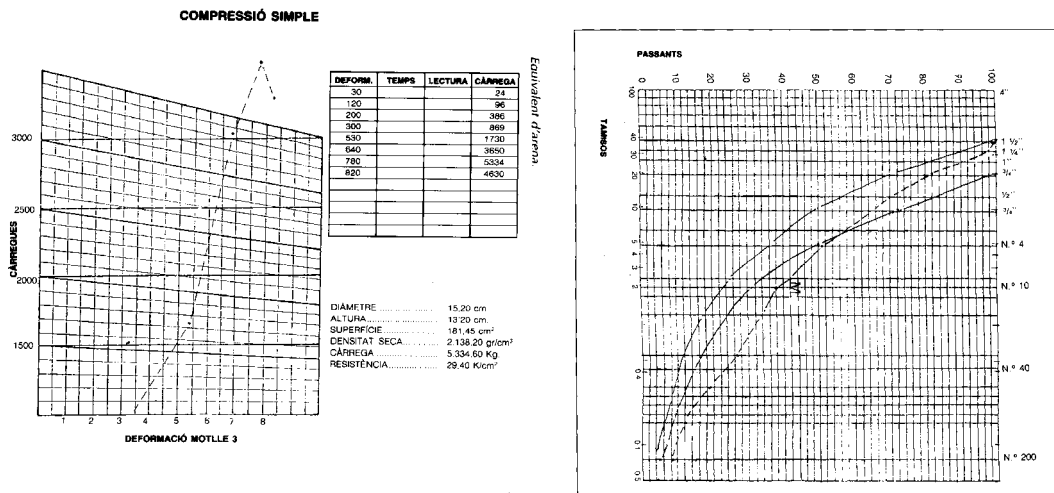
Fig. 2

La arquitecta Melin Nava Hung [\[Error! Marcador no definido.\]](#) lo completa con el análisis físico-químico de las tierras, y mediante DRX, de varios edificios de Alcalá de Henares del siglo XVI. A pesar de que el autor no da ninguna interpretación de los resultados, se extrae que la presencia de OCa podría deberse a la estabilización de los tapiales, y el 2% de sulfatos en el Paraninfo de Sant Ildefonso por la contaminación con sulfatos provenientes de restos de revestimientos, así como el 0.32% de materia orgánica de la residencia unifamiliar de la zona sur.

Ignacio Valverde, Eduardo Sebastián, Esther Ontiveros, geólogos y José Manuel López, arquitecto técnico, analizan los materiales usados en los tapiales de la Ciudad de Granada [\[Error! Marcador no definido.\]](#). Mediante DRX detectan la presencia de arcillas, calcita, cuarzo, y dolomita. Por análisis químico detectan un 5% de carbonatos, sobretodo en el tapial calicastrado, y de un 2% de sulfatos, especialmente yeso, que podría haber sido utilizado como estabilizante, reutilizado a partir de otros revestimientos.

Otro ejemplo de suelo utilizado para la ejecución de tapial, es el estudiado por los autores F.Font y P. Hidalgo para la realización de los viveros de la escuela taller de la Vall d'Uxó. La tierra procedía del margen del río Belcaire, próxima al proyecto. La tierra era de color marrón, de aspecto gravoso, libre de materia orgánica y aparentemente con una correcta proporción de arcilla. Se descartaron las partículas mayores de 40 mm. La determinación de los límites de Atterberg se hizo mediante la

norma NLT105-106/72 dando $LP=18,3\%$, $LL=23,1\%$, resultando un $IP=4,8\%$. Con la consistencia resultante de la fracción fina $< 0,4\text{mm}$ se clasificó la muestra según la gráfica de Casagrande, como CL-ML arcillas y limos de baja plasticidad. Además, como vemos en la gráfica inferior, la tierra presentaba carencias granulométricas en las fracciones de 5 y 1,25 mm., y un exceso en 0,63-0,32 y sobretodo en la fracción de 0,08 mm., corroborando por el valor bajo obtenido en el ensayo de equivalente de arena. La densidad máxima proctor obtenida fue de 2,12 con una humedad optima de 9,9%. Todo esto se tradujo en unas resistencias entre 18,8 y 26,2 Kp/cm2.



Y por último cabe destacar la cita ¹³ sobre las composiciones utilizadas tradicionalmente en Italia Alejandría (bajo Piamonte).” Esta técnica particular (en la que los huecos se habren después de contemplar el muro) está favorecida por la excelente calidad de la tierra, rica en hierro y aluminio, como denuncia su llamativo color rojo”.

Catalunya

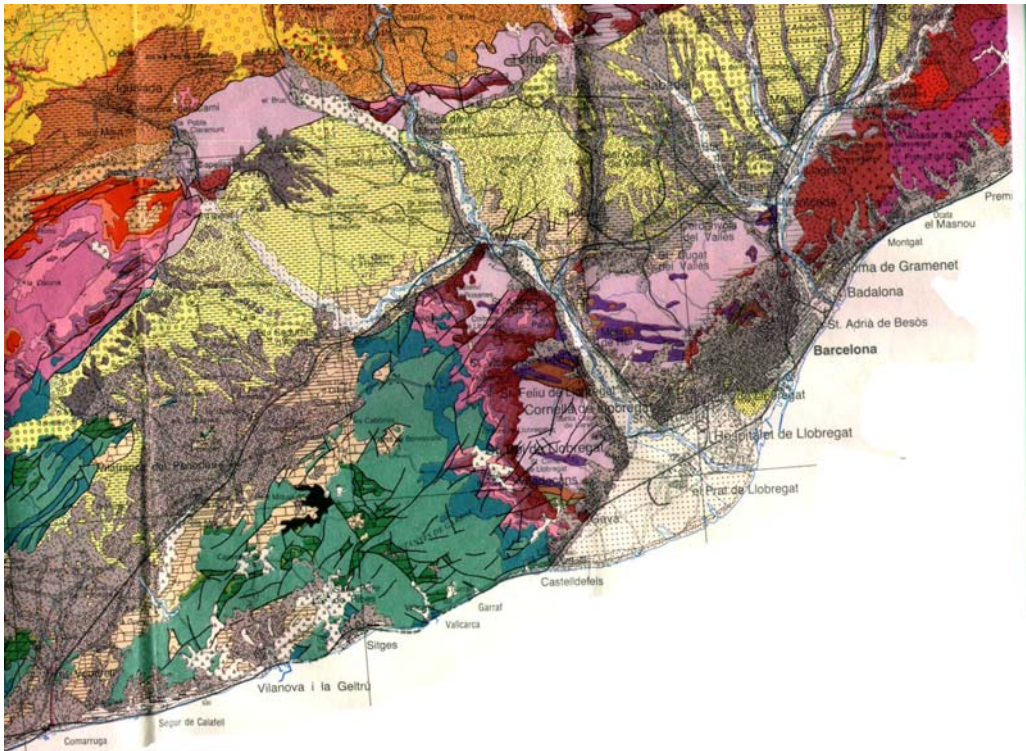
El estudio¹⁴ se inició con una recogida progresiva de una veintena de muestras de diferentes construcciones tradicionales catalanas y la comparación con otras muestras de fuera del país. Estas últimas remarcando las recogidas en Egipto, con 3000 años de antigüedad o las de diferentes Kashbas del Norte de Africa y algunas de la Capadocia en Turquía.

La finalidad de éste está en el conocimiento químico, físico, geológico y geográfico del muestreo de los adobes de las construcciones tradicionales, y también de las arcillas y tierras cercanas que fueron utilizadas para tales fines constructivos. Esta serie de diferentes lugares y orígenes, pretende servir para descubrir las propiedades intrínsecas de cada una de las composiciones y estabilizaciones históricas, así como la importancia relativa de sus componentes (arcillas, barros, óxidos, carbonatos, silicatos, materia orgánica,...). También sirvan para elaborar nuevas probetas experimentales utilizando nuevos aditivos.

¹³ Galdieri. Navapalos 1995

¹⁴ "Geologia", J.L Amorós, Fr. J.García, J. Aragón. Anaya, 1979.
L'Erol. Revista. Josep M. Busquets. Biòleg. 1983.

La nomenclatura de las muestras se han determinado a partir del nombre de su localización, así como numerados ordenados según el tamaño de la muestra. Este tamaño oscila alrededor de los 10-15 cm, y pesos entre los 150 y 50 grs. Debe tenerse en cuenta que las muestras se han obtenido de diferentes formas, careciendo la mayoría de veces, de mecanismos que garanticen la inalterabilidad de la extracción.



La Sierra Litoral Catalana está formada por una banda granítica, que en determinadas localizaciones como la Sierra de Collserola aflora muy poco en superficie. En esta zona domina a norte y a sur dos flancos de pizarras paleozoicas marinas del Silúrico inferior/Ordoviciense, este último aparece en pequeñas lomas y tumultos al pie de la sierra (Monterolas, Putxet, Falcó, Carmelo, Peira).

Las pizarras paleozoicas que se hallan en la proximidad del granito han sido metamorfozadas y dibujan a su alrededor una aureola de contacto que en muchos puntos, como en el Tibidado tienen dos kms. de anchura. Ésta no es paralela a la dirección de los estratos, sino que los corta, resulta que las capas que se hallan más o menos intensamente metamorfoseadas en las proximidades del granito al alejarse de él pasan progresivamente a rocas escasamente metamórficas y, finalmente, a materiales sedimentarios. Hay que distinguir:

- Una aureola interna formada por corneanas, micacitas y micacitas nodulosas. Las corneanas son rocas granudas y compactas con cuarzo biotita, feldespato, cordierita. Las micacitas son rocas pizarrosas, con cuarzo, mica y otros minerales de metaformismo, y el tipo nodulosas son similares pero con la mica concentrada en nódulos oscuros visibles.

- Una aureola externa formada por rocas menos intensamente metamorfozadas, tales como las filitas

o sericitas nodulosas (pizarras formadas por cuarzo y sericita, con nódulos negruzcos constituídos por biotita, cordierita y sericita) y filitas satinadas o sericíticas (de análoga composición mineralógica pero sin nódulos).

Estas dos capas son atravesadas por numerosos diques de espesor variable, de rocas porfídicas (aplitas, pegmatitas, pórfidos cuarcíferos y silicatos como la turmalina, granates anfíboles y feldespatos).

La formación de la Sierra Litoral se atribuye a su plegamiento herciniano y la intrusión granítica, entre el carbonífero inferior y el medio. El hundimiento del flanco meridional de la sierra se produjo poco antes de comenzar el mioceno (movimientos sávicos).

Clasificación.

M.1 Corbera. Can Cerdà (argilitas(Ilicorel.les), arcillas terciarias marítimas sobreconsolidadas muy duras en estado seco pero que en contacto con la atmósfera se vuelve en suelos muy plásticos).

30/10/91

Pizarra argilosa meteorizada, color marron claro plateado, extraida de los terrenos superiores de la urbanización de Can Margarit PIII de Corbera de Llobregat.

M.2

Granito en fase de caolinización, de San Andreu de Llavaneres, Maresme.

M.3

(18/10/91) Arcillas talud carretera, apariencia grasienta.

Junto con las muestras Sja, son terrenos pertenecientes al mioceno (m3. ref. PI. Geológico Nacional). Había presencia de fuertes bancadas de restos crecientes fluviales, con cantos rodados poco cementados por tierras. Bancales de rocas de márgenes y argilas compactadas muy grises y claras molt grises y claras (estratificadas y grasas). Todos estos terrenos pertenecian a la zona depósito del rio Anoia, pueden haber salido de la erosión anterior de materiales del curso superior:

- Zona 0 del Ordovicic (era Paleozoica).Pizarras y cuarcitas. Lo más probable.
- Zona t2. Muschelkalk (era Mesozoica, triásica. Fase previa a las arcillas y pizarras - ofitas.
- Materiales anteriores m1. del principio del Terciari, de las fácies del eoceno.

Mol.

Serie de muestras pertenecientes a Os de Balaguer y de la casa hecha de tapia de yeso, del mismo término, de Sant Josep del Molí. Todos los alrededores son terrenos ricos en yesos, lo que explica la substitución de las argilas por yeso en el momento de hacer tapias.

Mol.1

Muestras inalteradas sacadas de las tapias cara sur de la casa del Molí. Mol.2

Mol.3

Mol.4

Mol.5

Mol.ext.1

Estas dos muestras de tapia de yeso se encontraron en los escombros delante de la casa del Molí.

Mol.ext.2

Sja.

Serie de muestras de San Jaume de Sesoliveres (Penedés), recogidas el 18/10/91. Estas pertenecian a una casa de tápia de tierra con costroso de cal. Las que llevan el ext. quiere decir que son muestras superficiales. Sja 1.

Sja 2.

Sja 3.

Sja 4. ext.

Sja 5. ext.

Sja. Be.

Muestra estrecha cerca de este pueblo, en la población del Bedorc, antes de Piera, también de una construcción de tápia con costroso de cal.

Otros suelos de interés investigados por el autor

Graníticos del Maresme

El "Sauló", la zahorra, es un lem granítico o suelo residual producido por la descomposición, el clima mediterráneo, del granito subyacente.

M.4

(31/10/91) Zahorra de San Vicenç de Montalt, Maresma, con presencia de Pirites y principio de saulonización.

M.5

Zahorra de San Pol, con las mismas condiciones quel anterior.

M.6

(24/12/90) Argila ibizenca con contenido de óxidos de hierro. Estrecha alrededor de la Iglesia de San Mateu d'Eivissa, construida con muros de tapia de tierra. Allí pudo comprobarse un desfase térmico de cinco meses entre verano e invierno. Con 3 ºC al aire libre entrada la noche habian 18 ºC en el interior de la Rectoria de San Mateu.

M.

Argilas cuaternarias del Plan de Badalona, intersección Autopista Mataró con la N-II.



Arcillas

Durante la Historia de la Arquitectura, siempre ha sido utilizado el efecto aglomerante de algunos tipos de suelo, caracterizados por la presencia de arcillas, en una gran diversidad de estructuras cristalográficas, sin despreciar el efecto cohesivo de los limos. Este concepto básico nos lleva a considerar la fisicoquímica de las arcillas como una Ciencia complementaria y de la que podemos extraer aquellos criterios básicos indispensables para que el arquitecto pueda construir en un determinado lugar, ubicado en un terreno previamente estudiado desde el punto de vista geológico. Es evidente que el conocimiento técnico de las arcillas, respecto a su uso como aglomerante, está bien relacionado con su estructura fisicoquímica.

He revisado los antecedentes de estos estudios desde principios de siglo hasta el presente en los cuales Guineé', ya había modificado las técnicas de Rx por difracción con su nueva técnica aplicada a las arcillas que dió un avance importante al conocimiento de las sus estructuras en aquellas épocas.

Las técnicas aplicadas fundamentalmente a parte de la microscopía óptima son la microscopía electrónica, el análisis térmico-diferencial ATD, el análisis térmico-gravimétrico ATG y la difracción de rayos X, modificada esta por Guineé como estábamos diciendo.

El estado del conocimiento de las estructuras de los diferentes tipos de arcillas a partir de todas estas técnicas desarrolladas desde principios de siglo han dado una clasificación y unos conocimientos de cada uno de los grupos que prácticamente no han variado desde los años 70-75 hasta nuestros días en los cuales han habido otras nuevas técnicas que se han incorporado en las tareas de esta investigación. Entre éstas se encuentran los espectros de absorción de infrarrojos, que han ayudado a descubrir el desorden esencialmente en las caolinitas, y la espectroscopía de Mossbauer, que ha puesto directamente en evidencia la sustitución de los átomos de aluminio por los de hierro en las Caolinitas, pero que fundamentalmente no han cambiado el tronco de base de los sistemas de clasificación y de constitución de las estructuras de cada uno de los grupos.

En el tratamiento de la arcilla como material aglomerante por la Arquitectura hace falta diferenciar, su utilización en estado natural sin cocción, que se da desde las épocas más remotas, y la aglomeración cerámica, producida por una calcinación que lleva a la formación de fases líquidas gresificantes. La diferencia entre las dos aplicaciones de la arcilla, entre la arquitectónica y la cerámica, radica en que en las "Arquitecturas de tierra" sólo se utiliza aquella acción aglomerante directa a la temperatura ambiente. En el estado natural plástico el efecto de aglomeración, es mucho menor que aquel, por ello en cualquier "Arquitectura de tierra" se prevee modificar esta acción mediante la adición de sustancias o procesos estabilizantes. Éstos en su juego fisicoquímico de interacción con los propios tipos de arcillas, permite un aumento considerable de estas acciones aglomerantes mejorando su resistencia mecánica y su comportamiento ante el agua.

Este hecho ha permitido la generalización de los sistemas arquitectónicos de construir con tierra, cuyas prestaciones mecánicas compiten con las de los materiales cerámicos, al mismo tiempo que los hormigones de cemento portland.

Genesis

Las arcillas se forman a partir de la alteración de rocas por meteorización, formando nuevas rocas y minerales pertenecientes a suelos de tipo sedimentario. Clasificados por su textura como clásticos, en ellas se mantienen ciertos materiales antígenos unidos por una matriz cementante. Así se determina la presencia común de cuarzo, carbonatos, y feldespatos no alterados en las arcillas.

El contenido de arcilla en un suelo o roca alterados es directamente proporcional a los factores climáticos incidentes (Jenny, Hoyos y Alvarez Querol. Génesis de las Arcillas). Éstos autores demostró cómo la cantidad de arcilla aumentaba en función de la humedad y la temperatura, pasando a escala logarítmica para condiciones tropicales y subtropicales Álvarez Querol llega a la expresión $\% \text{arcilla} = 4.804 + 0.0077P$ (pluviosidad) $+ 0.0166 T$ (temperatura) ± 1.57 .

Pero el clima no es el único factor formador del suelo. Influyen

Propiedades generales

Existen varios tipos de arcilla; se pueden llegar a encontrar cientos de nombres diferentes en las bibliografías especializadas.

a. Polimorfismo: arcillas con una misma composición química, pero disposición interna de los átomos diferentes.

b. Isomorfismo: arcillas con una misma disposición geométrica de los átomos, pero con composiciones ligeramente diferentes.

En la práctica, en los diminutos cristales de arcilla se pueden presentar los dos fenómenos. Por consiguiente un simple análisis químico de las arcillas no siempre nos dirá exactamente qué propiedades tendrán éstas.

Las principales propiedades de las arcillas que son de nuestro interés:

1. Capacidad de intercambio de iones.

Las arcillas tienen capacidad de intercambio de iones con el medio acuoso, absorbiéndolos del agua o cediéndolos cuando los contiene en su composición. La mayoría de arcillas pueden liberar álcalis, como el potasio y el sodio, con el tiempo. Es una propiedad que se debe tener muy en cuenta si se utilizan junto con otros materiales susceptibles de ser atacados por los álcalis, tal como el cemento aluminoso, por el riesgo que conlleva si se utiliza como material estructural en un edificio.

Ya hemos visto que en las partículas de arcilla existen cargas insatisfechas, debido a dos razones principales:

1. Las cargas existentes en los enlaces rotos de los bordes. Este fenómeno ocurre en todas las especies arcillosas, y aumenta al disminuir el tamaño de la partícula e incrementarse, por tanto, el número de enlaces rotos.

2. Las sustituciones dentro de la red cristalina. Este fenómeno, como hemos visto, es de mucha importancia en los minerales del grupo de la montmorillonita y en la vermiculita. Debido a esta causa, las partículas suelen presentar deficiencia de cargas positivas.

Para neutralizar estas cargas, diversos iones se sitúan en la superficie de los minerales arcillosos. En el caso del grupo de la montmorillonita y de la vermiculita existen también cationes entre las diversas unidades fundamentales.

Estos iones son fácilmente reemplazables, y reciben el nombre de iones de cambio.

Aunque cationes y aniones son sustituibles, el fenómeno es más importante y está mejor estudiado en el caso de los primeros.

Una causa de la sustitución de cationes de un mineral arcilloso es la presencia de otros cationes cuya afinidad con las partículas sea predominante.

La "capacidad de cambio de cationes de un mineral describe su habilidad para adsorber cationes.

Se suele expresar en miliequivalentes por cada 100g. de suelo seco.

La tabla 4.2 resume la capacidad de cambio de cationes de las arcillas típicas y de otros minerales.

Hemos de decir que el fenómeno de cambio de bases, debido principalmente a la primera causa

enunciada, existe también en cualquier mineral no arcilloso con tal de que sea suficientemente fino.

Se observa que en cualquier mineral la capacidad de cambio de bases aumenta al molerlo, pues con ello aumenta el número de enlaces rotos.

En la tabla 4.3 reproducimos algunos ejemplos de la capacidad de cambio de aniones de algunos minerales arcillosos.

Ahora bien, la fuerza unitaria de repulsión aumenta al incrementarse el potencial eléctrico en la superficie de la arcilla; este valor es mucho mayor en las dos especies arcillosas anteriores que en la mayoría de las demás especies importantes.

Por otro lado, es probable que las cargas positivas en los bordes que originan las fuerzas en los contactos estén relacionadas con la capacidad de cambio de aniones, y esta capacidad de cambio es, según se indica en la tabla 4.3, menor en la vermiculita que en la caolinita.

Todas las disquisiciones anteriores sirven para justificar que en una arcilla sedimentada en agua de mar probablemente predominarán las fuerzas atractivas entre partículas sobre las repulsivas durante la sedimentación y, como consecuencia, se originará una estructura "floculada", muy abierta con abundancia de contactos cara-borde, según la imagen de Tan (figura 4.22), propuesta con anterioridad, en esquema, por Lambe, o bien con contactos borde-borde.

Mediante fotografías obtenidas con el microscopio electrónico, Rosenqvist (1959) ha demostrado la existencia de la estructura propuesta por Lambe en arcillas marinas. En cuanto a los contactos borde-borde, se han observado en numerosas arcillas (Ingles, 1968).

Si dispersamos arcilla (como para hacer un análisis de sedimentación), y la dejamos sedimentar a continuación en agua con cantidades crecientes de electrólito, y dibujamos la porosidad del sedimento en función de la concentración de iones, obtenemos curvas como las de la figura 4.23.

Una porosidad alta indica una estructura floculada, y una porosidad baja una estructura "dispersa". En el primer caso predominan las fuerzas atractivas entre las partículas durante la sedimentación, y en el segundo caso, no. Esto se deduce de que si representamos en ordenadas la resistencia al corte para un contenido de humedad constante y en abscisas la concentración de sales, obtenemos una curva muy parecida a la de la figura 4.23.

El mínimo de la curva de la figura 4.23 se produce para concentraciones de electrólitos comprendidas entre 0,006 y 0,0017.

Una estructura floculada debe ser, recién sedimentada, una estructura isótropa.

Se ha discutido mucho sobre si las partículas están en contacto o no en las arcillas. En arcillas densas, desde luego, lo están (v. Borst y Keller, 1969). En arcillas blandas, en muchos casos al menos, también; aparte de las fotografías al microscopio electrónico de Rosenqvist, y los contactos borde-borde observados, tenemos los ensayos de Fahn, Weiss y Hofmann.

Estos autores congelaron el agua de un gel de montmorillonita, y, a continuación, la eliminaron por sublimación. Como resultado se obtuvo una estructura rígida que poseía esencialmente el mismo volumen que el gel. Estos resultados no excluyen, sin embargo, la presencia de una capa de agua cuasi-sólida en el contacto.

Por último, al lixiviar una arcilla bajo carga, se puede llegar a eliminar o a cambiar prácticamente su contenido de sales. Esto, como ya hemos visto, modifica fundamentalmente las fuerzas fisicoquímicas. El hecho de que durante este proceso no se produzca cambio de humedad (Moum y Rosenqvist, 1961), induce a pensar que las partículas están efectivamente en contacto.

Las arcillas no son el único material que presenta esta propiedad. Las zeolitas también la presentan, por lo que se debe tener en cuenta si se usan tierras obtenidas a partir de materiales de origen volcánico.

Las arcillas más susceptibles de liberar álcalis son las montmorillonitas y vermiculitas, siendo la caolinita e illita menos peligrosas.

2. Plasticidad.

Las arcillas tienen la capacidad de absorber el agua, convirtiéndose en un material coherente y moldeable, llegando incluso a comportarse como un fluido si absorbe suficiente cantidad de agua. Se dice que una arcilla es tanto más plástica cuanto más agua pueda absorber sin convertirse en un fluido. Para cuantificar esta propiedad se han definido unos parámetros conocidos como límites de Atterberg:

- Límite plástico: mide la cantidad de agua necesaria para convertir a una arcilla seca y descohesionada al estado plástico, es decir, moldeable.

- Límite líquido: mide la cantidad de agua necesaria para pasar del estado plástico a comportarse como un fluido.

- Índice de plasticidad: diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Para el cálculo de estos parámetros existen normas industriales como ASTM. D4318, tal como se comenta en el apartado de antecedentes. Son interesantes de conocer, ya que nos permitirán comparar las características mecánicas de diferentes materiales.

Plasticidad de las arcillas y de otros minerales.

En las figuras 4.24 y 4.25 hemos representado los distintos minerales arcillosos en un Gráfico de Plasticidad de Casagrande. En la Caolinita, la Halloysita y la Metahalloysita, las variaciones que se producen en los límites de Atterberg al sustituir el catión de cambio.

Las propiedades plásticas de un sistema tiene las siguientes características de los componentes:

a) Forma y tamaño de las partículas minerales. Ya hemos visto la importancia que tiene el tamaño en la plasticidad de las arcillas.

Como indica Martín Viñas (1970), moliendo una roca aparecen las propiedades plásticas con cierta semejanza a las de la arcilla cuando el tamaño de partículas llega a ser del orden de las micras como es el de éstas. Si los polvos minerales proceden de sustancias más o menos laminares, como es el caso del talco, el $\text{SO}_4 \text{Ba}$, $\text{CO}_3 \text{Ba}$, $\text{CO}_3 \text{Fe}$, etc., se aprecian mejor sus propiedades plásticas. Martín Viñas (1970) ha medido límites líquidos de 19,5 en polvo de cuarzo y de 44 en talco, ambos amasados con agua.

b) Naturaleza del mineral. Dado que las arcillas tienen un tamaño muy pequeño, y su forma laminar es muy exagerada, se podría pensar que estas características son las únicas responsables de sus propiedades plásticas, pero ello no es cierto. El grafito no tiene propiedades plásticas, a pesar de la forma y tamaño próximo al de las arcillas (Martín Viñas, 1970).

c) Cation de cambio. Ya hemos visto su importancia.

d) Naturaleza del líquido. Martín Viñas (1970) ha encontrado que el límite líquido de polvo de cuarzo, talco y caolín aumenta, en general, al aumentar el momento dipolar del líquido aumenta al aumentar la constante dieléctrica. Así, por ejemplo, una bentonita sódica puede pasar de un límite líquido de 57, amasada con benceno (constante dieléctrica, 2,28), a 410, amasada con formamida (constante dieléctrica, 109).

Si agitamos polvo de bentonita en un líquido con constante dieléctrica baja podemos observar que, a diferencia de lo que ocurre con agua (constante dieléctrica de 80,4), desciende rápidamente al fondo donde forma un sedimento incoherente relativamente denso.

En la montmorillonita seca, las distintas hojas de $9,6 \text{ \AA}$ están unidas formando una partícula de mayor tamaño. Un líquido de elevada constante dieléctrica provoca la separación de estas hojas, como ya hemos indicado en el § 4.7. Por el contrario, el líquido de baja constante dieléctrica no penetra entre ellas, y la partícula conserva el tamaño que tenía cuando estaba seca. A ello se debe su elevada velocidad de descanso.

En la montmorillonita, las fuerzas fisicoquímicas de que hemos hablado probablemente no actúan, o son demasiado débiles cuando las partículas se encuentran rodeadas de un líquido de baja constante dieléctrica. También las fuerzas capilares estarán muy disminuídas.

Los electrólitos se disocian en un líquido de elevado valor de la constante dieléctrica en mucha mayor proporción que en uno de bajo valor. Un líquido de elevada constante dieléctrica es un buen aislante, y esto debe favorecer la disociación de iones.

La partícula seca de montmorillonita es neutra, y los cationes y aniones de cambio se encuentran "pegados" a ella. Por el mismo motivo que en un líquido de baja constante dieléctrica la disociación de iones es muy pequeña, es de esperar que en él se produzcan la separación de los cationes y aniones de la partícula de montmorillonita en muy baja proporción, con lo cual desaparecerían los fenómenos fisicoquímicos antedichos.

..... los cuales al orientarse forman un campo contrario al que los orienta.

Ya hemos visto que la montmorillonita tiene deficiencia de cargas positivas.

Por el contrario, la mayor parte de la capacidad de cambio del caolín se debe a los enlaces rotos y algo análogo ocurre en el talco y en el cuarzo. En estas circunstancias no existirá un campo eléctrico propiamente dicho, y es lógico que el carácter aislante del líquido se deba principalmente a su momento dipolar.

e) Concentración de electrólitos en el agua intersticial. Al aumentar la concentración desde 0,0001 N a 1,0 N disminuye el límite líquido, en general, en la montmorillonita, mientras permanece prácticamente invariable el límite plástico.

Esto es consecuente con lo indicado en el apartado d, pues al aumentar la concentración de electrólito disminuye el carácter aislante del líquido.

f) Una modificación en el pH influye relativamente poco en los límites de Atterberg de la montmorillonita-Ca (Mesri y Olson, 1970).

Peso específico de las partículas arcillosas. Agua adsorbida.

Se ha comparado el peso específico de las partículas obtenido mediante el cálculo de la red cristalina con los obtenidos por el método del picnómetro en agua y en líquidos no penetrantes (Deeds y Van Olphen, 1963).

En arenas y en arcillas no expansivas, el peso específico cristalográfico y el peso específico obtenido con agua son prácticamente iguales. El peso específico obtenido con líquidos no penetrantes está también igual, o como máximo un 1% más bajo. Este 1% puede representar la menor capacidad de penetración del líquido no polar en pequeñas desigualdades superficiales de las partículas.

En arcillas expansivas, el peso específico obtenido en líquido no penetrantes es un 4% inferior al obtenido en agua. Esta diferencia debe atribuirse a que el agua provoca la separación de las distintas hojas, mientras que en el líquido no penetrante existe una pequeña cámara de aire entre ellas. El peso específico cristalográfico varía según consideramos que las distintas hojas estén separadas o no.

En el primer caso, el peso específico cristalográfico de la vermiculita coincide con el obtenido en agua; en la montmorillonita, el cristalográfico es algo mayor, pero la diferencia es pequeña, y podría explicarse por una disminución de la densidad del agua situada entre las hojas de un 5% como máximo.

El agua situada en las proximidades de la partícula arcillosa, llamada agua adsorbida, posee propiedades muy diferentes a las del agua normal (Martín, 1962).

Densidad media del agua en las arcillas

Según medidas tomadas por diversos autores (Martín, 1962) la densidad del agua contenida en la montmorillonita-Na varía en función del contenido de humedad de la arcilla según la curva de la figura 4.26.

Parece ser que con otros minerales arcillosos resulta una curva de forma análoga.

....sentido, sino que dependen de circunstancias particulares dentro de cada especie mineralógica. Las Illitas que poseen un catión de cambio polivalente suelen tener un índice de plasticidad algo mayor que con cationes monovalentes, aunque a veces sucede lo contrario.

Por el contrario, en la montmorillonita, la introducción del catión Sodio, y más aún del catión Litio, produce un sensible aumento, tanto del límite líquido como del índice de plasticidad. Se ha medido un límite líquido de 1.160 en montmorillonita-Na (Mesri y Olson, 1970).

Obsérvese la estrecha correlación entre los límites de Atterberg y la capacidad de cambio de bases (v. tabla 4.2).

Como puede verse en las figuras 4.24 y 4.25 existen una gran variación entre límites de Atterberg de un mismo mineral arcilloso aún con el mismo catión de cambio. Gran parte de esta diferencia hay que atribuirla al tamaño de las partículas y a la perfección de los cristales: cuanto más pequeñas son las partículas y cuanto más imperfecta es su cristalización, más plástico es el suelo (Grim, 1962).

3. Variaciones de volumen.

Al absorber agua, todas las arcillas aumentan de volumen en mayor o menor grado. Al secarse sucede lo contrario, sufren una retracción en su volumen, agrietándose con facilidad, fenómeno conocido como "shrinkage". Este fenómeno es muy acusado en las llamadas "arcillas inflables" tales como la montmorillonita y la vermiculita, y mucho menos importante en la caolinita e illita.

4. Floculación.

Los microscópicos cristales de arcilla suelen ser de forma plana. Con frecuencia no tienden a apilarse unos sobre otros, sino a unir los cantos del cristal con las caras, dando lugar a flóculos o

grumos de arcillas muy porosos con estructura muy abierta. Una arcilla no floculada necesitará mucha menos agua que otra floculada para fluir dado que tiene mucho menos espacio entre los cristales. En cambio una arcilla floculada se secará mucho más fácilmente que otra no floculada y así tendrá menos riesgo de agrietarse. Las arcillas defloculadas son más densas una vez secas y menos viscosas cuando se mojan que las floculadas, tendiendo a constituir materiales con mayor resistencia. Sin embargo, no siempre ocurre esto último, ya que al secarse con mayor dificultad pueden generarse tensiones internas en el material y ser más frágil. Esta propiedad puede ser alterada por agentes químicos: el calcio flocula las arcillas y los álcalis, como el sodio, las defloculan. Se suele usar cloruro de calcio cuando interesa deflocularla. Si una arcilla está floculada y tiene sodio en su composición, si lo libera puede autodeflocularse.

En un material terroso es poco habitual encontrar sólo un tipo de arcilla; normalmente encontraremos una mezcla de varios tipos, aunque sí puede haber un tipo predominante. Por consiguiente las propiedades del material reflejará el promedio de las propiedades de las arcillas que lo componen..

Clasificación

En la utilización de la tierra como material aglomerante en la Arquitectura, se observa la presencia de los siguientes grupos minerales, en los cuales es posible identificar a partir de diagramas DRX.¹⁵, y siguiendo la clasificación general de J.Thorez:

- Grupo de las Esmectitas (Montmorillonita, Saponita, Beidellita, Fe-Montmorillonita, Fe-Saponita, Nontronita, esmectitas-vermiculitas intermedias, Al-esmectitas, Al-vermiculitas)

Las Vermiculitas

- Grupo de las Kanditas (Caolinita-Nacrita-Dickita)

- Grupo de las "Mica-like clay" e Illitas con un pic de identificación de 10Å;

- Las Cloritas (Mg,Al,Fe), con una dimensión interlamina de 14 Å;

- La Sepiolita

Las Halloysitas.

De forma introductoria podemos destacar los siguientes aspectos de interés para las aplicaciones arquitectónicas de las arcillas, cuya capacidad aglomerante es decisiva :

- Caolinita: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, puede contener un poco de Ca.

- Dickita y nacrita: tienen la misma composición que la caolinita, pero con disposición de los átomos diferentes. Son poco abundantes.

- Halloysita: con la misma composición que las anteriores, abunda en suelos de zonas volcánicas.

- Alofana: posee una composición parecida a las anteriores, pero no da cristales. Es un amorfo. Abunda en zonas volcánicas.

- Montmorillonita: grupo de arcillas de variada composición. La composición "teórica" es $\text{K}_x\text{Al}_y\text{Mg}_z\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, con contenido de agua absorbido variable. Asimismo puede contener litio, calcio, hierro, potasio y otros elementos. Las de alto contenido en hierro se llaman nontronitas. Las ricas en Mg y poco aluminio son las saponitas, y si tienen litio se conocen como hectoritas. Las deficitarias en silicio y ricas en aluminio se conocen como beidellita. En algunos libros se denomina a todo el grupo de montmorillonitas como smectitas.

- Illita: mineral o grupo de minerales mal conocido, aunque abundante. La composición ideal es $\text{KAl}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

- Paligorskita y sepiolita: la composición ideal de este grupo es $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Si contienen bastante aluminio se conocen como attapulgita.

- Vermiculitas: mica rica en magnesio con algo de aluminio.

Microestructura

Actualmente aún hay zonas oscuras en el exacto comportamiento de estas microestructuras que pueden llegar a tamaños inferiores a los $0,01\mu$, o a grosores de solo 10\AA ($1\text{ Armstrong} = 10^{-4}\mu$ (micras)).

ASPECTOS GENERALES DE LAS ESTRUCTURAS DE SILICATOS

La mayoría de estructuras de silicatos descritas, incluyendo las arcillas, están basadas en la existencia del grupo $[\text{SiO}_4]^{-4}$. Este es incapaz de existir independientemente requiriendo estar unido a cuatro cargas positivas para equilibrar sus cargas negativas; estas pueden ser otros grupos SiO, como en el silicio, o otros cationes como en el silano.

Estructuras en isla.

Cuando la neutralidad se consigue con cationes metálicos, principalmente Fe y Mg unidos a los cuatro iones de oxígeno del $[\text{SiO}_4]^{-4}$ se forman estructuras en isla. De este tipo son las estructuras de los olivinos, caracterizados por la fórmula general $(\text{Mg,Fe})^2\text{SiO}_4$. Un cristal completo de olivino contiene un número muy largo de estas unidades SiO_4 con sus cationes apropiados; forma un conjunto continuo porque cada átomo es compartido por dos o más átomos.

Estructuras en grupo.

En lugar de que todas las valencias libres de oxígeno esten satisfechas por cationes metálicos,

dos o más tetraedros de sílice, pueden ser agregados, esquina a esquina, formando una estructura en grupo Fig.

Uniendo dos grupos juntos como en la fig. da el grupo Si_2O_7 , con un puente de oxígeno conectando los iones de oxígeno de los tetraedros adyacentes, también seis unidades pueden ser fusionadas para formar una estructura en anillo como en la fig., en la cual la unidad básica es $\text{Si}_6\text{O}_{16}^{12-}$.

Minerales del tipo Si_2O_7 son raros, pero el grupo incluye minerales como el Berilio o Esmeralda, en los cuales los oxígenos insatisfechos son unidos a Al^{3+} y Be^{2+} , adoptando la fórmula de $(\text{Be}^3\text{Al}^2)\text{Si}_6\text{O}_{18}$. El mineral Cordierita, $\text{Al}^3\text{Mg}^2(\text{Si}^5\text{Al})\text{O}_{18}$ siempre tiene estructura de anillo. Esta fórmula denota que uno de los seis silicios en el anillo ha sido reemplazado por un ion de aluminio; esto es un ejemplo de sustitución isomorfa, donde un cation puede sustituirse por otro de similar medida sin un cambio radical de estructura. La sustitución del aluminio trivalente por el silicio tetravalente altera el balance de carga; en este momento, la neutralidad se mantiene por un incremento de radio del catión trivalente a divalente. La sustitución isomorfa es un suceso común en los silicatos y como veremos con la discusión de las arcillas, hay otros posibles caminos para encontrar la neutralidad.

Estructuras en cadena.

Para unir un largo número indefinido de tetraedros de silicio juntos, llegamos a las estructuras en cadena, de las cuales hay dos clases muy comunes de minerales, los piroxenos y los anfíboles. Son fibrosos parecidos al Asbesto. En todos se repite una unidad básica que representa la estructura en conjunto. En los piroxenos, la unidad que se repite es $\text{Si}_2\text{O}_6^{2-}$, y en los Anfíboles es el $\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}$.

La Horblenda, un suceso natural del Anfíbole, encontrado en rocas ígneas, tiene la fórmula general $(\text{Ca,Na,K})_{2-3}(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Si,Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Como la fórmula implica hay muchos grados y variedades de sustitución en este mineral.

Estructuras en hoja

Si se produce una condensación de un número de unidades de piroxeno y de Anfíbole se puede producir una hoja completa de 6 anillos de Oxígeno-Silicio. Estos anillos tienen una fórmula repetida $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ y son capaces de extenderse indefinidamente en dos direcciones; esto es porque las valencias del Oxígeno, dentro del plano, se encuentran equilibradas al

estar unidas a dos Silicios excepto a los que se encuentran en los bordes, capaces de unirse a otras unidades similares. La única valencia libre del Oxígeno se encuentra en los vértices del tetraedro de Silicio, mostrándose sobre cada átomo de Silicio en el diagrama; esos Oxígenos no pueden formar hojas pero pueden servir para unirse a otras hojas. Otras estructuras en hoja bastante similares a las hojas Silicio-Oxígeno están presentes en las estructuras de la Gibbsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la Brucita, $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

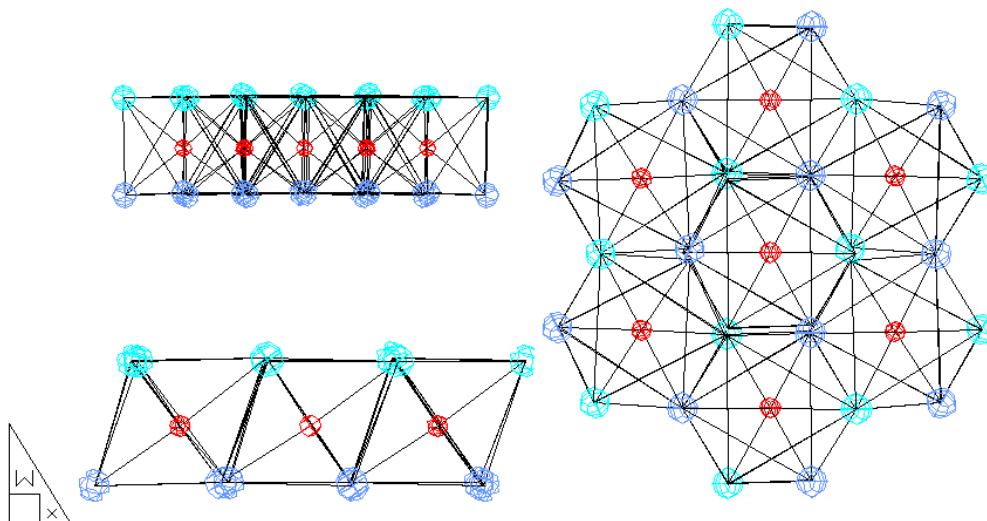


Ilustración 1 Estructura básica de la Brucita. a) Derecha.. Proyección en planta de un estrato de la red, formado por dos capas de OH, en color azul diferenciando los superiores de los inferiores, con átomos de Mg entre ellos, representados por esferas rojas. b) Izquierda. Alzado lateral c). Visión frontal de la estructura trioctaédrica de la Brucita.

Ambas estructuras consisten en hojas de átomos de Al o Mg, y grupos OH, que ocupan el lugar del Oxígeno en las hojas de Silicio. Cada átomo de Mg o Al está coordinado con seis Hidroxilos, y cada uno de estos a la vez se coordina con dos átomos de Mg o Al.

La **Brucita** $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tiene aspecto de masa laminar o fibrosa de color blanco o grisáceo translúcida con brillo nacarado o céreo. A veces se presenta en cristalitas tabulares exagonales. Tiene exfoliación perfecta dando hojas flexibles, ya que sus diferentes capas de OH, interpuestas entre los átomos de Mg están unidas débilmente por fuerzas de Van der Waals. Se parece al talco y al yeso, pero la Brucita es más dura, más soluble y casi imposible. Es fácilmente soluble en ácidos. Se encuentra generalmente en la caliza o en la Serpentina, asociada a magnesita, hidromagnesita y otros minerales magnesianos, o en las calizas cristalinas como producto de alteración de la periclaza, en la que se transforma a su vez por la acción del calor.

La otra estructura básica es la **Gibbsita** $\text{Al}(\text{OH})_3$, denominada también Hidrargilita₁₆. Este hidróxido tiene el aspecto de un mineral casi blanco formado por pequeñas estalagmitas o costras con estructura interna fibrosa, que recuerdan, por su superficie lisa a la Calcedonia. Su estructura es hojosa, formada por estratos de OH en apilamiento hexagonal o Pseudo-hexagonal compactos, paralelos a la base monoclinica Ilustración 3. Los átomos de Al quedan octaédricamente entre 6 OH, pero ocupando tan sólo la mitad de las posiciones disponibles dentro de cada capa. Cada OH de un estrato está opuesto a otro OH del contiguo y enlazado por fuerzas de Van der Waals. A consecuencia de la simetría monoclinica, los estratos están desplazados, unos con relación a los otros, en una pequeña magnitud en la dirección del eje y. Tiene exfoliación perfecta según la base monoclinica. Al soplete sobre el carbón es infusible, se vuelve dura y se pone incandescente. con el nitrato de cobalto toma color azul intenso, reacción característica de la Alúmina. Con el aliento desprende olor a tierra mojada. Soluble lentamente en el ácido sulfúrico caliente; más fácilmente en los álcalis en caliente.

La Gibbsita es un producto secundario, resultado de la alteración de otros minerales de la Alúmina, que rara vez se presenta pura y cristalizada, siendo, en cambio, frecuente acompañante de la Bauxita y Lateritas. También es mineral de origen hidrotermal, que rellena grietas y cavidades en algunas rocas ígneas.

Cabe destacar que dentro del grupo de la Brucita hay otro mineral de gran interés la Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$ teniendo la estructura tabular con exfoliación perfecta igual que la Brucita. La destacamos por su presencia en el cemento Portland como producto de su hidratación, siendo detectable en los diagramas ATD de forma natural se puede encontrar asociada la calcita y como producto de alteración de silicatos de calcio, presentándose en diminutas laminillas hexagonales, incoloras, flexibles y transparentes. También se ha encontrado como polvo amarillo en las fumarolas del Vesubio.

Muchos de los minerales arcillosos más importantes contienen este tipo de hojas como veremos a continuación.

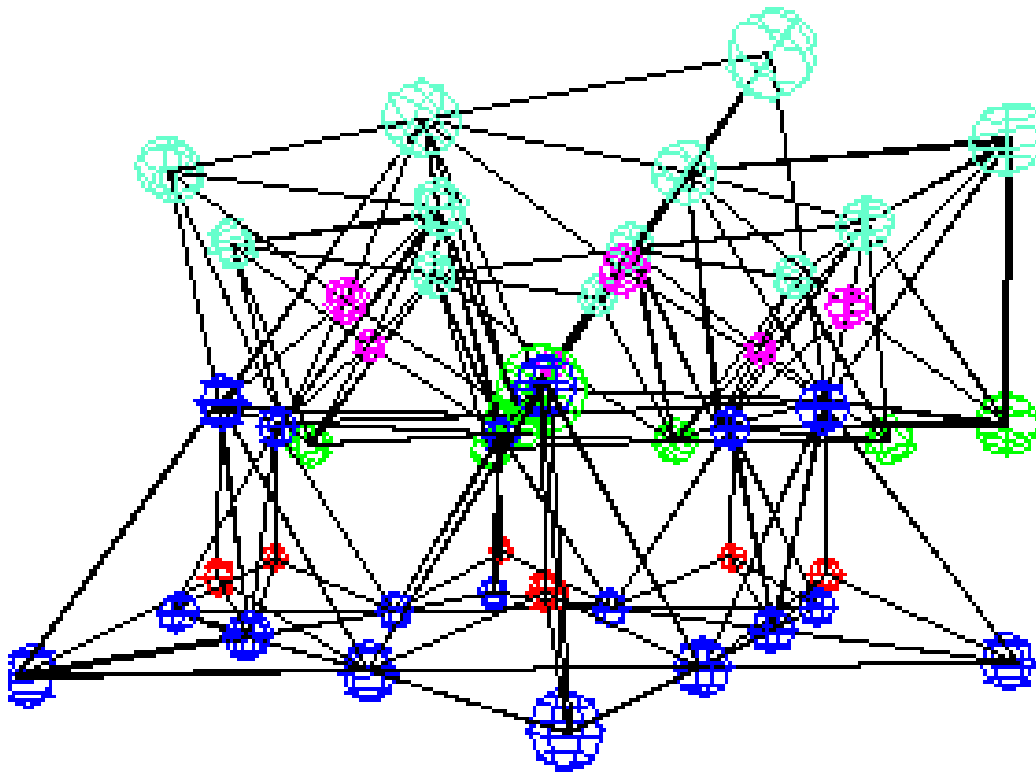


Ilustración 2 Perspectiva tridimensional de las capas Octaédrica y Tetraédrica de la Caolinita

Principales minerales arcillosos

Grupo de las Caolinitas o del Caolín

El grupo del Caolín incluye los minerales *Nacrita*, *Dickita*, *Caolinita* y *Haloisita*. Sus estructuras tienen una cosa en común, están compuestas de hojas de Silicio unidas a hojas de Gibbsita modificada.. Imaginemos una hoja de Gibbsita colocada directamente sobre una hoja de Silicio, de tal manera que uno de los tres grupos OH es desplazado por uno de los Oxígenos verticales no saturados de la hoja de Silice. Estos Oxígenos ahora forman un puente entre las dos hojas dando lugar a una capa compuesta unitaria del tipo Caolín. Si nosotros escribimos la capa modificada de Gibbsita como $[Al_2(OH)_4]^{2+}$ (habiendo eliminado dos grupos OH) y la hoja de Silicio como $(Si_2 O_5)^{2-}$, nosotros llegamos a la fórmula compuesta $Si_2 O_5 Al_2(OH)_4$, o $Al_2Si_2 O_5(OH)_4$, la fórmula de la unidad fundamental del grupo de las Caolinitas.

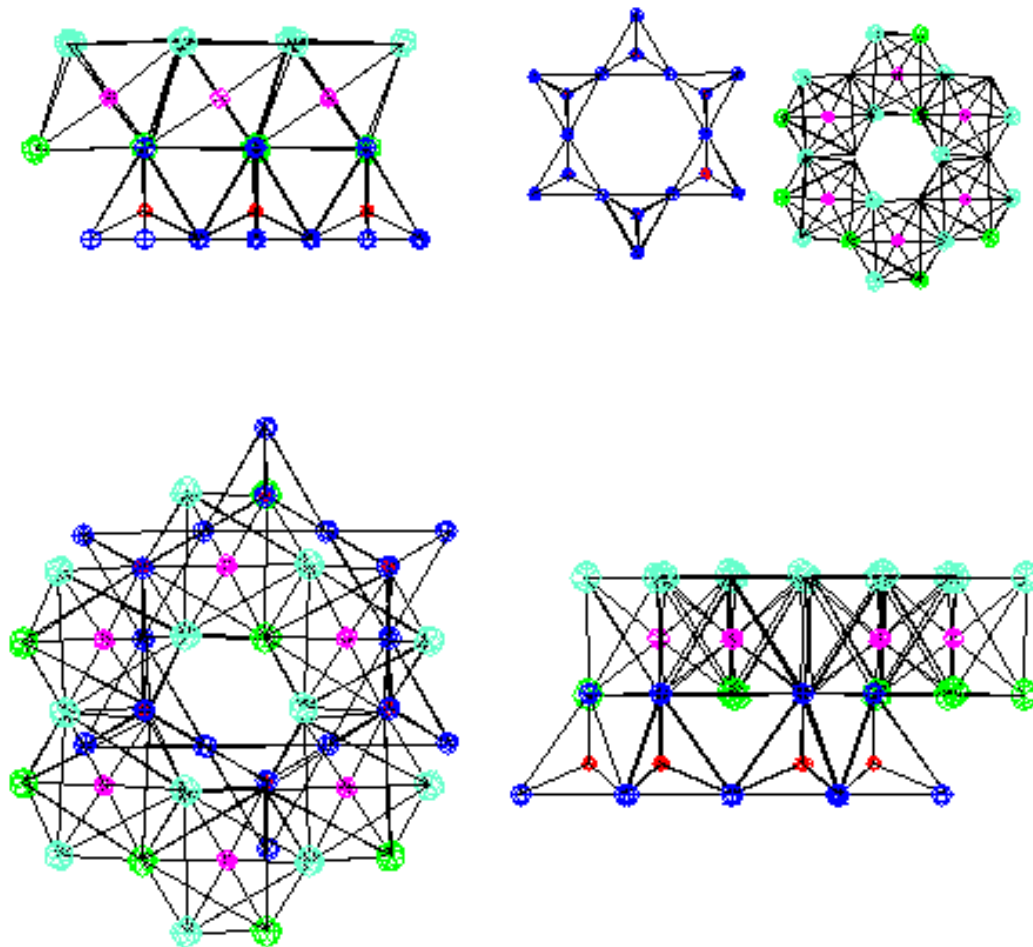


Ilustración 3 Estructuras atómicas de las celdas básicas de los minerales arcillosos, se describen tridimensionalmente para facilitar su comprensión, ya que las proyecciones parciales mostradas en las principales bibliografías dificultan la comprensión. a) Alzado frontal de la Caolinita, estructura T+O, capa superior dioctaédrica de Gibbsita $Al_2(OH)_6$, destacan las diferenciaciones de color entre los grupos OH superiores e inferiores, fusionada con la capa tetraédrica de sílice SiO_4 . En rojo el silicio, y en azul los oxígenos. b) A la derecha estructura de la celda básica de la Gibbsita, en verde los hidroxilos y en magenta los átomos de Aluminio, y a su izquierda la celda de Sílice c) Superposición de las celdas básicas, con las consecuentes substituciones de grupos OH- por O de la sílice. d) alzado lateral de la Caolinita

La capa de Silicio está frecuentemente referida a capas tetraédricas, porque debido a la configuración tetraédrica de los grupos $Si O_4$. La coordinación del Si respecto al Oxígeno, el cual es 4, se describe por la numeración romana sobre el elemento: Si^{IV} . La capa de Gibbsita, los Oxígenos son adaptados a la forma de las esquinas del Octaedro, figura que tiene ocho caras y ocho esquinas. La coordinación de Al es justo seis y se representa como Al^{VI} . Un importante parecido de las caras octaédricas en los Caolines es que sólo dos de los tres posibles lugares se encuentran ocupados por iones aluminicos, estando el resto libre; así estas estructuras se denominan dioctaédricas. Hay tres posibles caminos de llenar tres

lugares con dos iones dando origen a una fuente de variación en las capas unitarias. El grupo de la Serpentina tiene una estructura consistente en una hoja de Silicio condensada con una hoja de Brucita, con la fórmula unitaria $Mg_3 Si_2 O_5(OH)_4$. Este grupo es claramente trioctaédrico, esto es posible porque tres átomos del Magnesio divalente llevan sólo la misma carga como los dos átomos de Aluminio trivalente. Los minerales mejor conocidos de este grupo son la Antigorita y el Crisotilo, pero este último no es generalmente clasificado como mineral arcilloso.

Amontonamiento de capas

Un cristal de mineral de Caolín no consiste en una capa compuesta sino en un número muy largo de diferentes capas, las cuales pueden estar unidas a un libro donde cada página representa una simple capa. Estas estructuras planas deslizables entre ellas constituyen los elementos que dan lugar a la propiedad de la plasticidad. Hay que notar que no hay enlaces iónicos entre unidades vecinas; la totalidad del cristal es mantenido junto por puentes de hidrógeno, actuando entre grupos OH^- de las capas de Gibbsita y los átomos de Oxígeno de las capas de Silicio adyacentes. Para que este débil enlace secundario sea efectivo, los oxígenos y grupos OH^- apropiados tienen que estar cerrados en conjunto; hay diversos caminos en los cuales una unidad puede ser amontonada sobre otra para conseguir su enlace y este dé origen a cuatro minerales distintos del tipo Caolín: Nacrita, Dickita, Caolinita, Haloisita.

1. Caolinita

En la Caolinita, las unidades se encuentran otra vez desplazadas regularmente a lo largo del eje A, aunque $\gamma=90^\circ$, el ángulo β es 104.5° y el ángulo $\alpha=91.8^\circ$. La celda unitaria es triclinica con $A=5.15 \text{ \AA}$, $B=8.95 \text{ \AA}$ y $C=7.39 \text{ \AA}$. Exfoliación perfecta dando laminillas flexibles pero no elásticas. Al microscopio aparecen en forma de laminillas o escamitas, por lo general incoloras que en sección transversal tienen aspecto fibroso. Infusible al soplete. En tubo cerrado desprende agua entre 390 y 450° . Parcialmente atacada por el ácido clorhídrico y totalmente por el sulfúrico concentrado y caliente y por el fluorhídrico. Calentada sobre el carbón con unas gotas de solución de nitrato de cobalto toma color azul. Absorbe fácilmente los tintes.

La Caolinita se encuentra en conexión con los minerales del Carbonífero y formando extensas capas en el Terciario.

Existen la variedad de la Rectorita que se diferencia por perder la mitad del agua a los 110° . También podemos encontrar la Caolinita impura o sea con mezcla de Alúmina, Hidróxido férrico, geles de Sílice, arena cuarzosa o caliza, etc. configurando ya una arcilla completa. A través de los principales minerales arcillosos de los sedimentos Británicos se encuentra la Caolinita que aparece menos cristalizada que las arcillas Chinas. Los estudios con difracción de rayos x indica un ensanchamiento de ciertos picos, los cuales han sido interpretados por Plançon y Tchoubart (1977), como desplazamientos en los espacios vacantes octaédricos, de los cuales dos o tres sólo han sido ocupados por iones de aluminio. Una causa menos común puede ser la forma de desplazamiento de las capas unitarias a lo largo del eje b, como en la Haloisita, o la curvatura de capas, como se observa en esta última y el Crisotilo.

Añadiendo a lo antedicho, un tipo distinto de desorden es observado en muchas arcillas Británicas; donde se ha provado prácticamente aislar el mineral puro, los análisis químicos han enseñado que la composición difiere significativamente de una Caolinita ideal, habiendo en general una deficiencia de aluminio, siendo reemplazado isomórficamente por una menor cantidad de Magnesio, Hierro y ocasionalmente Titanio. Una fórmula iónica típica para tal Caolinita es $(Al_{1.8} Fe_{0.1} Mg_{0.1}) Si_{2.0} O_{5.0} (OH_{4.0}) Ca_{0.05}$.

La sustitución de parte del trivalente Al por Mg resulta una deficiencia global de carga positiva, la cual se equilibra externamente por algunos otros cationes, comunmente Ca^{2+} , el

cual es entonces intercambiable por otros cationes. Esta sustitución probablemente justifica la alta capacidad de intercambio catiónico de las caolinitas desordenadas ocurriendo como en las arcillas refractarias, ladrillos cerámicos y bolas cerámicas (Worrall 1958.) El grado de sustitución aparece variable de arcilla a arcilla, aparentemente siendo las arcillas refractarias inglesas las más sustituidas. Entre éstas y las caolinitas más cristalizadas, existe un amplio rango de grados intermedios de sustitución; por lo tanto no parecería aconsejable asignar un nombre específico a estas especies excepto usar el término no comprometido de caolinita desordenada.

Hoy en día no está claro si el tipo químico de desorden se refiere justo a su relación a algún desorden cristalográfico detectado por difracción de rayos x, aunque los dos ocurren frecuentemente de forma simultánea, como el caso de ciertas arcillas refractarias inglesas. Desde los iones sustituyentes Mg y Fe son ligeramente más largos que Al, es razonable suponer que la sustitución de este último por Mg y Fe podría resultar en distorsiones locales en la estructura de la Caolinita. Esto sería compatible con los resultados de Plançon y Tchoubart, quienes mostraron por microscopía electrónica que el espécimen de caolinita desordenada contenía hojas, burbujas o inclusiones al azar dentro de la estructura. Desde hace un tiempo ha sido considerado la posibilidad de que la Caolinita desordenada pueda estar en íntima asociación de Caolinita normal y una pequeña proporción de Montmorillonita. Sin embargo las extensivas investigaciones químicas de Sulaiman y Worrall (1982-85) no habían revelado ninguna cantidad significativa de Montmorillonita; además la alta capacidad de intercambio catiónico ($30 \text{ Meq } 100 \text{ g}^{-1}$) requeriría la presencia de 25-30% de Montmorillonita, la cual habría estado fácilmente detectada.

Una característica significativa de las Caolinitas desordenadas son en general más finas, de plasticidad más alta y de resistencia más alta que las Caolinitas bien cristalizadas. Hay, de hecho, una relación inversamente proporcional entre el índice de cristalinidad y plasticidad, o resistencia, tal como mostró Abboud (1978).

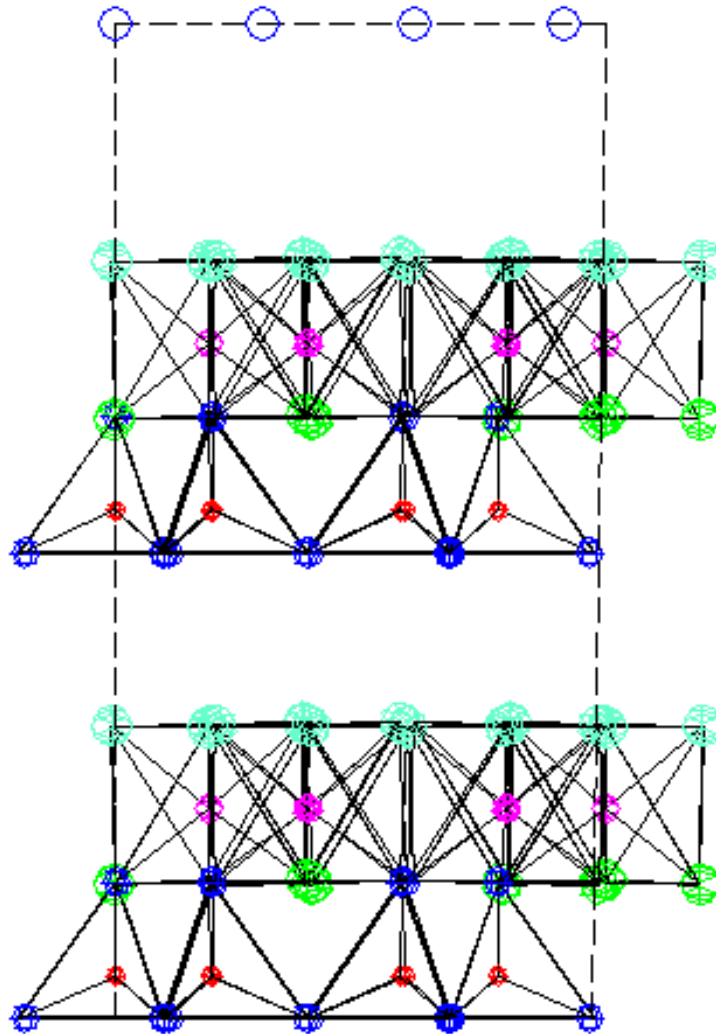
El Caolín o tierra de porcelana, no es una especie mineral, sino una especie de Caolinita, Dickita, Nacrita y otros aluminosilicatos gelatinosos mal definidos o Alofanitas. Presente en masas terrosas plásticas al adquirir agua, es un material básico para la industria cerámica.

En España son muy numerosas las localidades donde se encuentra Caolín para su explotación, diferenciadas en dos grandes áreas: con una génesis granítica en Galicia y las sierras centrales; y las zonas Cántabro-Pirenaica, Levantina y parte de la Central, producto de la alteración de las arcosas o areniscas feldespáticas.

2. Dickita

La Dickita las capas unitarias se encuentran desplazadas regularmente a lo largo del eje A, para que el ángulo β no sea mayor que 90° , pero es igual a 96.8° . En la celda unitaria, $\alpha = \gamma = 90^\circ$ y $A=5.15 \text{ \AA}$, $B=8.95 \text{ \AA}$ y $C=14.4 \text{ \AA}$. Hay hasta dos unidades de Caolín en cada celda unitaria, siendo la última monoclinica.

Al soplete y con los ácidos se comportan como la Caolinita. En tubo cerrado pierde agua entre $450-575^\circ$. No absorbe los tintes con tanta facilidad como la Caolinita.



3. Nacrita

La Nacrita, las capas están amontonadas como se encuentran los átomos en una capa de Silicio directamente encima de otra capa de Silicio. Así, los ángulos α y β , en adición al ángulo γ , son muy cercanos o iguales a 90° . Debido a los diferentes caminos de popularizar las posiciones octaédricas, la estructura sólo se repite después de cada seis unidades de Caolín, conformando la dimensión C de la unidad estructural de la celda = 43 \AA . La dimensión A es 5.15 \AA y la dimensión B 8.96 \AA , resultando una celda unitaria prácticamente ortorrómbica, monoclinica domática según ¹⁶. Tiene la misma fórmula y propiedades que la Dickita y la Caolinita, aunque se diferencia por una textura cristalina a simple vista, tener buena exfoliación en presencia de calor, incolora, verdosa o de color azul pálido, y destacable su pérdida de agua entre los 600 y 650° . Se diferencia de la Caolinita por no absorber tan fácilmente los tintes. Siendo poco frecuente es presente, en depósitos de casiterita y en ciertas capas de pizarra.

4. Haloisita

En la Haloisita, las capas unitarias de Caolín están presentes e inmóviles, pero desplazadas a lo largo de ambos ejes a y b de forma ocasional, para que los valores no puedan ser asignados a los ángulos α β , aunque el ángulo γ esté fijado en 90° y las dimensiones de la celda unitaria para la metaforma sean similares a los de Caolinita. Debido a la ausencia de

¹⁶Mineralogía Descriptiva I/II P.Martínez Strong, Josefina Pérez Mateos, Pedro García Bayón. CSIC.Instituto José de Acosta. Madrid 1955/1976.

enlaces de hidrógeno entre unidades sucesivas, la estructura es penetrable por el agua dando formas hidratadas cuya fórmula podría escribirse como $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4 \cdot 2 H_2O$. Esta Haloisita hidratada pierde agua rápidamente a temperaturas cercanas a los $60^\circ C$. y eventualmente se convierte en la metaforma la cual tiene la misma fórmula empírica que la Caolinita. El agua extra en la Haloisita hidratada incrementa la dimensión c a en 2.9 \AA . La Haloisita siempre difiere de los miembros del grupo del Caolín en su condición cristalina. Donde la Nacrita, Dickita y a menor extensión la Caolinita coexisten como cristales tabulares o aplacados, la Haloisita existe en forma tubular como la revela la microscopía electrónica.

Sumergida en agua se vuelve traslúcida y a veces transparente. Al soplete, sobre el carbón, se comporta como la Caolinita, pero en tubo cerrado desprende mayor cantidad de agua. Es atacada por los ácidos. La Haloisita es también mineral de origen secundario procedente de la alteración de diversos silicatos aluminosos. Se encuentra en los granitos y otras rocas formando filones o lechos acompañando a otros minerales (Cinc, Hierro, Cobalto, Plata y Cobre) y es frecuente acompañante de la Calamina como resto de la disolución de rocas calizas. Es constituyente importante de muchas arcillas.

5. Anauxitas

Un mineral con estructura similar a la Caolinita pero conteniendo un exceso de Sílice es conocido como Anauxita. El radio $Si O_2 / Al_2 O_3$, puede ser más alto que 3:1. Esto dificulta imaginar como el $Si O_2$ puede acomodarse en su estructura, pero ha sido sugerido que las capas tetraédricas dobles de Sílice, presumiblemente con enlaces Vander waals, están ocasionalmente intercaladas entre las unidades de Caolín. Del mismo modo es posible que la Anauxita sea Caolinita contaminada con capas finamente divididas de Sílice, probablemente amorfo, del cual no se puede separar fácilmente. El diagrama de polvo es semejante al de la Caolinita. Puede proceder de la alteración de la Biotita, y es frecuente en muchos Caolines y en Basaltos alterados.

6. Alofanas y Imogolita

Estos minerales alumino-silicatos, frecuentes en suelos volcánicos y algunas veces constituyentes minoritarios de arcillas, son principalmente amorfos, aunque la Imogolita muestra un grado de orden unidimensional. Ésta tiene una composición aproximada de $Al_2 O_3 Si O_2 \cdot 2 \frac{1}{2} H_2O$, mientras la Alofana es más variable con un rango entre 1 a 2 de $Al_2 O_3 / Si O_2$.

Otra característica que la distingue es la forma de la partícula; bajo el microscopio electrónico la Alofana se ve como partículas esféricas mientras que la Imogolita son largas pareciendo partículas filamentosas. Son solubles en una disolución de un 2% de $Na OH$ (Wada 1978).

Bajo esta denominación también han sido descritos varios Silicatos de Alúmina hidratados que se presentan en estado de gel y, por lo tanto, amorfos, que son en esencia mezclas de Haloisita, Metahaloesita, algo de Caolinita y minerales afines, que contienen además carbonato cálcico, alcalis, hidróxidos de hierro, etc. Al tratar con ácido clorhídrico o acético algunos de estos silicatos una parte se disuelve geles: Geolitas, Geoaluminitas, Alofanitas y/ o Ceolitas del suelo, si bien erróneamente, debido a la propiedad que tienen de adsorber Alcalis y carbonato cálcico. Estos minerales, de los cuales uno se desmorona en el agua y otros forman masas plásticas, son producto de la alteración de rocas silicatadas, estando siempre mezcladas con el Caolín dificultando la diferenciación entre arcillas caoliníticas y las alofánicas

Nosotros podemos llevar el proceso de condensación de capas a un estado adicional por la condensación de dos capas de Sílice (uno en cada lado) con uno de Gibsita o una de Brucita, dándonos respectivamente los minerales pirofilita, $\text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$, y talco, $\text{Mg}_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Aunque estas dos sustancias no son verdaderos minerales arcillosos, las Montmorillonitas pueden ser consideradas como derivadas de estas por procesos de sustitución. Las formas estructurales de éstas se enseñan esquemáticamente.

En estos minerales, un simple cristal está compuesto de un largo número de unidades aproximándose a una o a otra de ambas fórmulas, pero desde capas adyacentes en estas unidades sólo están capas de Sílice, allí no pueden estar enlaces hidróxilos exteriores y las unidades están enlazadas por fuerzas de Van der Waals. Cada enlace es roto fácilmente por corte por lo tanto la Montmorillonita está pegajosa y suave cuando se enrolla entre los dedos.

A través de difracciones de rayos x puede facilitar el reconocimiento de los minerales tipo Montmorillonita, no siempre es fácil distinguir los miembros del mismo grupo. Las formas diferenciadoras son de hecho la naturaleza de las sustituciones y posteriormente son más fácilmente determinadas por análisis químico del mineral purificado. De acuerdo con Ross y Hendricks, los cuales vieron en la estructura de la Montmorillonita estando ampliamente aceptado, los átomos de aluminio en la Pirofilita son parcialmente sustituidos por Magnesio, Hierro o Litio; similarmente los átomos de Sílice pueden ser parcialmente sustituidos por aluminio, el único catión de un radio similar. Consideraciones parecidas se aplican igualmente al talco, donde el Magnesio puede ser parcialmente o totalmente sustituido por el aluminio o hierro.

Desde la sustitución del aluminio trivalente por el magnesio divalente, átomo por átomo resulta en una completa carga negativa en la estructura, la neutralidad eléctrica ha sido mantenida por otros cationes externos a la matriz; así estos cationes son intercambiables. La alta capacidad de intercambio catiónico de las Montmorillonitas es así adecuadamente explicado por el alto grado de sustitución. Estas sustituciones isomorfas alteran el equilibrio eléctrico de la red que puede ser restablecido con la entrada de otros cationes en las posiciones de coordinación octaédrica (Cr, Mn, Ni, Li) y por la presencia de cationes extraños a la red (Ca y Na por lo general), denominados cationes de cambio por la posibilidad de ser reemplazados mediante tratamiento por soluciones acuosas de las sales que interesen.

Sería de notar que las unidades estructurales principales siempre conllevan una carga negativa; aún donde un exceso de carga positiva existe en la capa octaédrica, está entonces más que compensada por una deficiencia en la capa tetraédrica. Naturalmente los minerales frecuentemente tienen fórmulas intermedias entre algunos de las dos fórmulas ideales ambas citadas, y de hecho una variedad infinita de sustituciones es teóricamente posible. Naturalmente las Montmorillonitas de composiciones intermedias o mezcladas pueden algunas veces ser consideradas como soluciones sólidas de dos o más composiciones ideales. La Nontronita es de interés como ideal de sustitución completa del hierro. Nuevo punto de interés es que los miembros del grupo ricos en Magnesio, Hectorita y Saponita son claramente trioctaédricos, el resto dioctaédricos aunque en todos los casos el catión intercambiable es mostrado como el sodio, éste siendo el catión más común, otras especies aparecen, como notablemente lo hace el Calcio. Los cationes intercambiables se consideran que están situados entre las capas de Sílice y porqué los enlaces relativamente débiles son capaces de disolverse hacia fuera cuando la arcilla está en contacto con el agua. Añadiendo a esto, las moléculas de agua se hallan en la posición interlaminar, algunas adsorbidas por la carga superficial y otras ocupadas por los cationes como el agua de hidratación esta agua, como discutiremos más tarde puede ser eliminada comparativamente a una baja temperatura (150-300gr.C.).

Es generalmente aceptado que las capas unitarias en las Montmorillonitas están superpuestas en una manera completamente ocasional (un tipo turboestrático de desorden) debido a los enlaces relativamente débiles entre capas. Porqué de la gran variedad de sustituciones posibles, las dimensiones de la celda unitaria varían de un tipo a otro pero son aproximadamente $A= 5,3\text{Å}$, $B= 9,2\text{ Å}$, $\beta= 97^\circ$, siendo el valor de C variable. Las capas unitarias pueden ser forzadas por el agua y otros líquidos polares, causando el espaciamiento basal (la distancia perpendicular entre planos equivalentes) para variar de 10 a 15 Å.

La descripción más ampliamente difundida de la estructura de las Montmorillonitas está basado en las de Hofmann, Endell y Willm, modificado por Marshall, Maegdefrau y Henricks. Algunas autoridades notables como Edelman y Favegee habían sugerido algunas diferencias estructurales. Ellos afirmaban que algunos grupos OH estaban enlazados al Sílice siendo la estructura equilibrada al invertir algunos tetraedros y sustituyendo algunos hidróxilos por oxígeno en las capas octaédricas. La fórmula obtenida sería: $Al_2 Si_4 O_{10} OH$ ($2.N.H_2O$), en los cuales no hay sustituciones, siendo la capacidad de intercambio catiónico supuestamente debida al cambio de hidrógeno a grupos Hidróxilos de las capas de Sílice. El suceso extraño del grupo Si - OH en los minerales de Silicato y la ionización del hidrógeno desde grupos hidróxilos eran la única causa del intercambio de cationes eran la montmorillonitas, la capacidad de intercambio variaría con el Ph, aunque todavía no hay evidencia de que eso sea así. De esta manera los planos se encuentran cubiertos por una extensa red de iones OH enlazados al Si, que debe ejercer un intenso efecto polarizante sobre el agua y otras moléculas polares, explicando así el mecanismos de la adsorción y pérdida de agua.

Algunas confusiones han aparecido desde algún tiempo por medio del uso de la palabra Montmorillonita para indicar un mineral específico y el nombre de grupo a la vez. Por esta razón se ha propuesto otros nombres alternativos de los que podemos encontrar el del grupo de las Esmectitas.

La Montmorillonita parte del Al está sustituido por el Mg siendo un mineral de estructura rómbica o pseudorómbica. Color blanco grisáceo a rosa rojizo o azulado. Ésta procede de la alteración de los feldspatos. Es un agregado laminar con exfoliación perfecta. En cambio en la Nontronita la estructura vista al microscopio está formada por finas agujas. Color amarillo paja a verde amarillento.

La Beidelita es una Nontronita en la que el F^3_2 está sustituido por el Al_2 en coordinación octaédrica y parte del Si por Al en coordinación tetraédrica. Tiene las mismas constantes que el anterior al parecer formando una serie isomorfa de cristales mixtos. Tiene estructura rómbica, formando hojuelas micaceas de dimensiones microscópicas. De origen hidrotermal, puede ser también producto de la desvitrificación de vidrios volcánicos y de formación moderna en las pizarras por efecto de procesos metamórficos de poca intensidad. Forma parte de las Bentonitas, las cuales son rocas arcillosas procedentes de la desvitrificación y subsiguiente alteración química de materiales vítreos ignios, por lo general tobas, y cenizas volcánicas cuyo principal constituyente es la Montmorillonita acompañada de los otros minerales del grupo y en especial la Beidelita. Cuando son muy puras están dotadas de gran capacidad de adsorción respecto al agua y otras sustancias y para el cambio de bases. Es frecuente que vayan acompañadas de impurezas como la Sílice, Feldspatos, Óxidos e Hidróxidos de Hierro y Aluminio, minerales del grupo de las micas, Cloritas, Caolinita, Sulfuros, Sulfatos, Carbonatos y sales alcalinas, y cuando llegan a constituir mas de un 25% pasan a denominarse arcillas Esmécticas o tierra de Bataneros.

Sólo las micas de un grano muy fino pueden ser consideradas como minerales arcillosos, pero sus estructuras son las más entendidas al considerar primero las variedades de grano largo.

En las Montmorillonitas el grado de sustitución raramente excede un tercio de un átomo por fórmula unitaria en cualquier capa. Imagine que empezando con la Pirofilita, $\text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$, nosotros sustituimos un átomo completo de Si por un átomo de Al en la capa tetraédrica, formando la unidad cargada negativamente $\text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})^{2-}$. Dejando la deficiencia de carga ahora está equilibrada por un átomo de potasio, llegando a la fórmula de la mica potásica o moscovita, $\text{K} \cdot \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$ o, como se escribe frecuentemente $\text{K} \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$.

La primera fórmula es más informativa ya que muestra que un átomo de aluminio sustituye al Sílice en la capa tetraédrica, y los otros dos átomos de aluminio forman parte de la octaédrica o capa de Gibsita.

La diferencia esencial entre esta estructura y la de la Montmorillonita es que en la mica hay comparativamente una gran carga concentrada en una capa, para que el catión de equilibrio, el potasio, sea fuertemente unido y entonces no sea intercambiable. Esto denota que las fuerzas de unión en el balance catiónico de las micas es mucho más fuerte que en las Montmorillonitas, pero siendo, a pesar de eso, los átomos unidos dentro de las capas más débilmente, por tanto tienden a ser fácilmente divididas en dirección paralela a las hojas. Como ocurre en los Caolines, pueden ocurrir variaciones en el amontonamiento de las diversas unidades de mica, dando lugar a un polimorfismo. Es conocido la existencia de estructuras desordenadas, particularmente en las micas de grano fino como ocurre en las arcillas.

Otro factor contribuyente a la fijación del potasio es de hecho que se ajusta entre anillos hexagonales sílice-oxígeno adyacentes, así adquiriendo coordinación 12 con el oxígeno el cual es requerido para encerrarlo.

Similarmente, si nosotros empezamos con talco en lugar de pirofilita, y manejamos teóricamente la misma sustitución como antes, llegaremos a la fórmula de la Flogopita, el Magnesio trioctaédrico análogo a la Moscovita: $\text{K} \cdot \text{Mg}_3 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Se diferencia de la Biotita por contener poco hierro, la constante presencia de fluor, que puede estar sustituido por OH, mayor proporción de Sílice y por sus yacimientos aunque coincide bastante en formas y ángulos. Se denomina también Mica Magnésica o Mica Bronceada. Tienen un aspecto de cristales grandes y pequeños mal conformados y de color rojo parduzco casi negro, con algún reflejo cobrizo. Soluble en ácido sulfúrico y con separación de escamas de Sílice, menos atacada que la Biotita por el Clorhídrico. Es de origen Neumatolítico, encontrándose en calizas y dolomías granudas, pizarras cristalinas, en las zonas de metamorfismo de contacto y en algunas serpentinas; como producto de segregación magmática en Peridotitas y lavas Leucíticas. En España se encuentra en los Gneis de Santiago, en el granito de Pineda o en las calizas arcaicas de la Sierra del Guadarrama.

Las micas ferromagnesianas se denominan Biotitas $\text{K} (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3 [(\text{OH}, \text{F})_2 \text{Al Si}_3 \text{O}_{10}]^{16}$, $\text{K} (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$ este nombre común se le da corrientemente a las micas de color muy oscuro. En estas se produce una considerable sustitución del aluminio por el Hierro. Su aspecto es de pardo hasta negro, con frecuencia con brillo bronceado, predominantes en las rocas eruptivas y algunas metamórficas en escamas pequeñas, tabletas o prismas exagonales cortos, siendo más raras las variedades de color verde negruzco, también en masas compactas formadas por escamas exfoliables. Son muy raros los cristales bien formados susceptibles de medición. Maclas escalonadas por deslizamiento, con exfoliación muy perfecta dando laminillas flexibles y elásticas. Se altera por lixiviación del hierro perdiendo su color confundiendo con la Moscovita, diferenciándose por su pequeño ángulo de ejes ópticos. Este proceso se llama Baueritización. Más frecuente es el

paso a clorita, seguramente en condiciones hidrotermales, que se reconoce por la estructura escamoso-fibrosa y la menor birrefringencia. En esta alteración se forman como productos accesorios, cuarzo, carbonato o epidota y minerales de hierro. Por la acción de los agentes atmosféricos pierde alcalis y se transforma en un mineral de color pardo o amarillo de oro con brillo bronceado, de láminas blandas, flexibles pero no elásticas (Oro de gato). Las biotitas corroídas por el magma presentan con frecuencia un borde onfacítico formado por magnetita, augita u hornblendas, las que se diferencian por la falta de exfoliación en las secciones basales.

La biotita es la más común de todas las micas y entra como componente esencial o accesorio en casi todas las rocas eruptivas y metamórficas, en especial granitos, dioritas, gabros, sienitas, sienitas nefelínicas, pórfidos, traquitas, peridotitas, gneis, micacitas, etc, siendo rara en las rocas poco magnesianas o potásicas. Como la biotita se altera con facilidad, no es frecuente encontrarla en los sedimentos, pero sí en rocas de metamorfismo de contacto como son las corneanas.

Relacionando su localización geográfica con la de las arcillas objeto de estudio en la tesis doctoral, destacamos su presencia en las andesitas de Cabo de Gata, y en el Tibidabo (Barcelona).

Otra mica sódica análoga a la Moscovita es denominada Paragonita $\text{Na Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Forma agregados compactos formados por finas escamas con brillo anacarado y color amarillento, blanco verdoso o grisáceo. Ópticamente no se distingue de la Moscovita. casi infusible al soplete a veces se exfolia. En tubo cerrado desprende agua. Inatacable por los ácidos. Es la mica que menos abunda en las rocas metamórficas. Con un tipo similar de estructura se encuentra la margarita, una mica cálcica $\text{Ca Al}_2 (\text{Si}_2 \text{Al}_2) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Tiene láminas de exfoliación basal frágiles a diferencia de las verdaderas micas o de las flexibles de las cloritas, constituyéndose como un estado de transición entre estas últimas al tener como componente esencial el calcio. Tiene color gris o rosado con brillo nacarado. Al soplete blanquea y funde los bordes. En tubo cerrado desprende agua. El ácido clorhídrico hirviente lo descompone lenta y parcialmente. Se encuentra asociada a rocas alteradas metamórficas con Corindon y Esmeril, y a las pizarras cloríticas.

La mica con contenido de Litio (de 3 a 7%) se denomina Lepidolita teniendo los átomos sustituidos mucho más en la capa octaédrica que en la tetraédrica $\text{K (Al Li}_2\text{)Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$. Tiene el aspecto de agregados escamosos o granudo escamosos con laminillas o escamas de color rosado a flor de melocotón, con exfoliación fácil, y aveces como cristales grises. Al soplete funde con intumescencia en vidrio claro o grisáceo, coloreando la llama de color rojo púrpura debido al litio. En tubo cerrado da agua y la reacción de fluor.

Incompletamente atacada por los ácidos, excepto el fluorhídrico, gelatinizando con ellos. Es de origen neumatolítico encontrándose en las pegmatitas y filones graníticos y Gneis con otros minerales fluoríferos (Turmalina, Topacio, Casiterita, Albita) y en asociación paralela con la Moscovita destacamos su presencia en el Montseny, Cadaqués y S. Feliu de Pallarols.

Grupo de las Illitas

Muchas arcillas naturales contienen minerales micaceos, pareciéndose a la Moscovita en muchos aspectos, pero conteniendo menos potasio y mas agua combinada. Es un material de grano fino presente en arcillas sedimentarias y asociada con la Montmorillonita o la Caolinita. No significa ciertamente sí es un simple mineral o una mezcla, pero conviene usar el término específico. Otros nombres aceptados son de hidromica, sericita, bravaisita, o mica hidratada.

No todas la Illitas son necesariamente puras, los análisis de varias muestras enseñan contenidos de potasio entre un 3-7 %, Sílice entre 38-53 % y Alúmina entre 9-32 %.

Siempre partiendo de la composición normal de la Moscovita, hay comparativamente una menor sustitución de aluminio por Sílice en la capa tetraédrica, esto respondería al bajo contenido de potasio y al alto de Sílice aunque no respecto a la mayor proporción de agua combinada. Otra posible explicación es que una proporción de los átomos de potasio sean sustituidos por iones hidroxonio (OH_3^+). Aún se podría especular que los iones OH_3 provienen a diferentes temperaturas de los grupos hidróxilos, cuando la arcilla es calentada, pero no parece ser el caso. Las propiedades térmicas de las Illitas enseñan de hecho un parecido a las de las Caolinitas como describiremos posteriormente. Es evidente que la Illita constituye un estado progresivo de derrumbamiento de las estructuras de feldespato a Caolinita desordenada. Las fases transitorias parecen estar unidas al material inalterado, por lo cual es difícil su separación por métodos físicos. Así las propiedades del material compuesto son un paso intermedio entre Caolinita y Moscovita.

Grupo de las Cloritas

Los minerales del grupo de las cloritas son los mejor considerados como derivados del Talco, así podemos suponer que de la fórmula ideal del talco $\text{Mg}_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$ hay una sustitución de un átomo de Silicio por aluminio, resultando una estructura cargada negativamente como en la Moscovita $\text{Mg}_3 \text{Si}_3 (\text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2^-$. La neutralidad se consigue por la inserción de una capa de Brucita cargada positivamente, en la cual un átomo de Magnesio es sustituido por Aluminio, $[\text{Mg}_2 \text{Al} (\text{OH})_6]^+$. Así de la combinación de la unidad básica cargada de Mica con la unidad cargada de Brucita resulta la estructura ideal de la Clorita $\text{Mg}_5 \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{10} \text{OH}_8$. Naturalmente ocurre que las Cloritas pueden desviarse considerablemente de la fórmula anterior por posibles sustituciones del Al por Si en la capa tetraédrica y de Fe^{2+} , Fe^{3+} por Al en la capa octaédrica. En un cristal de Clorita la secuencia Talco - Brucita se repite muchas veces.

Se dice que la Clorita se origina tanto como mineral primario en rocas ígneas como producto secundario de la descomposición de la Biotita, Hornblenda y otros minerales. También hay algunas evidencias que es un producto intermedio de la descomposición de la Moscovita o la Illita al formar Caolinita. Como producto necesitaría claramente ser una Clorita Aluminosa, con capas alternadas tipo Gibbsita y Pirofilita, y tendría una composición química idéntica al de la Caolinita. No se conoce ninguna Clorita luminosa aunque las Cloritas han sido reseñadas en las cuales hay considerables sustituciones de Magnesio por Aluminio.

Suelen tener color verde oscuro, condición a la que deben su nombre, derivado del griego Chloros, y presenta ciertas analogías con las micas, pues, como éstas, cristalizan al sistema monoclinico, a parte de ser exfoliables y de dar laminillas, aunque no elásticas, no obstante se diferencian de éstas por la falta de Alcalis y de no ser atacadas por los ácidos.

El poder de cristalización de las cloritas es muy escaso, presentándose en masas escamosas o terrosas. De su examen se deduce la imposibilidad de asignar una fórmula exacta a cada una de las variedades isomorfas de Clorita, por ello aunque para tener una orientación sobre su variabilidad presentamos a continuación la gráfica de Winchell donde se establecen todas las posibles mezclas a partir de la Antigorita, Amesita, Dafnita y Ferro-Antigorita.

Las Cloritas son muy abundantes en la naturaleza, encontrándose en casi todas las clases de rocas, pero en especial en las pizarras cristalinas, con predominio en algunas de ellas (pizarras Cloríticas) y están también presentes en las Filitas, Pizarras Micáceas, etc. Son minerales secundarios resultantes de la transformación de silicatos Ferromagnesianos, como son los Anfíboles, Piroxenos, Micas, etc, apareciendo en pseudomorfosis según los minerales más dispares: Biotita, Hornblenda, Augita, Olivino, Granate, Turmalina, etc. Cuando las Cloritas proceden de la Biotita, suelen conservar la exfoliación y forma del

mineral original, quedando los cristales de Clorita paralelos a los de Biotita. Cuando es producto de la alteración de Piroxeno o Anfíboles, suelen tomar el aspecto de masas irregulares de diminutas escamas, con apariencia fibrosa en sección transversal o de agregados esferolíticos. También pueden ser producto de la combinación de Silicatos aluminosos, como los feldespatos con otros ferromagnesianos.

De las variedades del gráfico podemos localizar Clinocloro (color negro azulado a verde negruzco, a veces verde pálido amarillento) en Catalunya, en el Tibidabo, Montseny, Massanet de la Selva, Pasteral y Queralps; en muchas rocas gneissicas y graníticas de la Sierra de Guadarrama y en el gneis Nicacea en Guadalajara.

Grupo de la Paligorskita

La estructura básica consiste en una cadena doble Silicio-Oxígeno, similar a los de los Anfíboles, unido a sus finales por iones de oxígeno. A intervalos, hay unidades Oxígeno-Hidróxilo de Magnesio o Aluminio enlazando através de las cadenas de Sílice. Entre éstas hay huecos formando canales los cuales son ocupados por cadenas de moléculas de agua. La fórmula ideal de la Paligorskita es $(\text{OH}_2) \text{Mg}_5 \text{Si}_8 \text{O}_{20} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, en la cual pueda existir alguna sustitución de Magnesio por Aluminio. Se cree que las cuatro moléculas de agua de la fórmula están situadas en canales estructurales. El nombre de Atapulgita ha sido dado al mineral del grupo donde el radio Al/Mg es cercano a 1:1. Las Paligorskitas son minerales fibrosos, debido al fácil cruce entre cadenas.

Una peculiaridad de esta estructura es que las cuatro moléculas de agua, son expulsadas cuando el mineral es calentado por encima de los 400°. Las otras restantes están más fuertemente unidas a Aluminio o Magnesio Octaédrico y por tanto son retenidas a la más alta temperatura.

Las Paligorskitas están relacionadas morfológicamente con los asbestos de Serpentina, de Actinolita etc. siempre por sus fibras paralelas. La génesis se explica como siendo depositadas por aguas cargadas de CO_2 y SiO_2 , sustancias debidas a la descomposición superficial de rocas eruptivas.

El mineral Sepiolita es similar a su composición química y propiedades física diferenciando sólo por su estructura. Se denomina Espuma de Mar, Piedra Loca, Piedra Ollar. Tiene aspecto de masa compacta blanda onodular, terrosa o arcillosa, rara vez fibrosa, algo untuosa al tacto, adherente a la lengua y de color blanco grisáceo. Se parece a la Creta o al Caolín, se distingue por su ligereza y por gelatinizar con los ácidos en caliente y concentrados. Se encuentra en regiones donde abunda la serpentina, ya que se considera producto de su alteración, pero también puede ser originada por la acción de soluciones magnesianas sobre el cuarzo o de soluciones conteniendo Sílice sobre las calizas.

Se puede localizar en España en el Cerro Almodovar, Vallecas, Toledo, Segovia y Valencia.

Grupo de la Vermiculita

El mineral de Vermiculita se relaciona estructuralmente a las micas y puede ser considerado como Flogopita o Biotita, en los cuales el potasio ha sido sustituido por iones de Magnesio Hidratados. El conjunto de estas sustituciones es casi siempre menor que en las micas dando la típica fórmula de $\text{Mg}_3 (\text{Si}_{3.30} \text{Al}_{0.70}) \text{O}^{10} (\text{OH})_2 \rightarrow \text{Mg}_{0.35} 4.5\text{H}_2\text{O}$.

Las 4.5 moléculas de agua se cree que son coordinadas por el Magnesio y ocupan aproximadamente el mismo lugar como la capa de Brucita. El que la estructura de agua no esté presente como hidroxilo se deduce de los datos de deshidratación, los cuales enseñan el

agua interlaminar se pierde a temperaturas cercanas a 500° C., pero el agua remanente, presumiblemente derivada de los grupos hidroxilos, no es eliminada hasta 700° C.. Puede ocurrir una amplia gama de sustituciones y desviaciones de la fórmula. Una característica de las Vermiculitas es que si es calentada repentinamente por encima de 500° C. el agua interlaminar es despedida con tal vigor que las láminas son forzadas a separarse, causando una expansión entre 20 y 30 veces respecto a su tamaño original, fenómeno denominado exfoliación. Las Vermiculitas tratadas así son muy porosas y son utilizadas como aislantes térmicos. El Magnesio interlaminar es intercambiable por otros cationes, como el Calcio de forma natural.

Proceden de la alteración de las Micas y también de la alteración de las Cloritas por absorción de agua, correlativa a la pérdida de Alkalís y oxidación del hierro¹⁶.

Estructuras de láminas mixtas.

Alternativas capas de Clorita y Vermiculita pueden ser unidas formando la secuencia regular CVCVCV... en éstas los espacios cristalinos observados por difracción de rayos X son directamente relativo a las proporciones de los dos constituyentes y a sus espaciamientos cristalinos individuales.

Cuando la interestratificación no es regular, no existe ninguna relación resultando muy dificultosa su identificación. Entre las estructuras de capas mixtas que han sido identificados están la Illita-Monmorillonita, Clorita-Vermiculita y la Clorita-Illita.¹⁷

Efectos de aglomeración de las arcillas

Bases fisicoquímicas para evaluar las fuerzas aglomerantes que desarrollan las arcillas por deshidratación a temperatura constante

Las fuerzas aglomerantes desarrolladas por las arcillas dependen mucho más de las bases fisico-químicas que regulan las atracciones mutuas, a partir de la proximidad de las partículas, que de la propia estructura en sí del mineral arcilla. Por tanto es indispensable conocer cuales son dichas bases que nos permitan evaluar las fuerzas aglomerantes que desarrollará una determinada arcilla por deshidratación de sus pastas, obtenidas a temperatura constante, en un campo totalmente diferenciado de los procesos de ceramización y gresificación de las arcillas.

Existen dos clases fundamentales de interacciones entre partículas :

A) las interacciones puramente físicas, basadas en que todas las estructuras de las arcillas consisten en una repetición de células cristalinas en retículas bidimensionales y tridimensionales. A nivel macroscópico presentan una tendencia a formar láminas yuxtapuestas, con una orientación preferencial por gravedad, siempre como consecuencia del acercamiento progresivo por deshidratación continuada de las masas plásticas preformadas, con mayor o menor grosor según la constitución estructural de la arcilla de la que se trate.

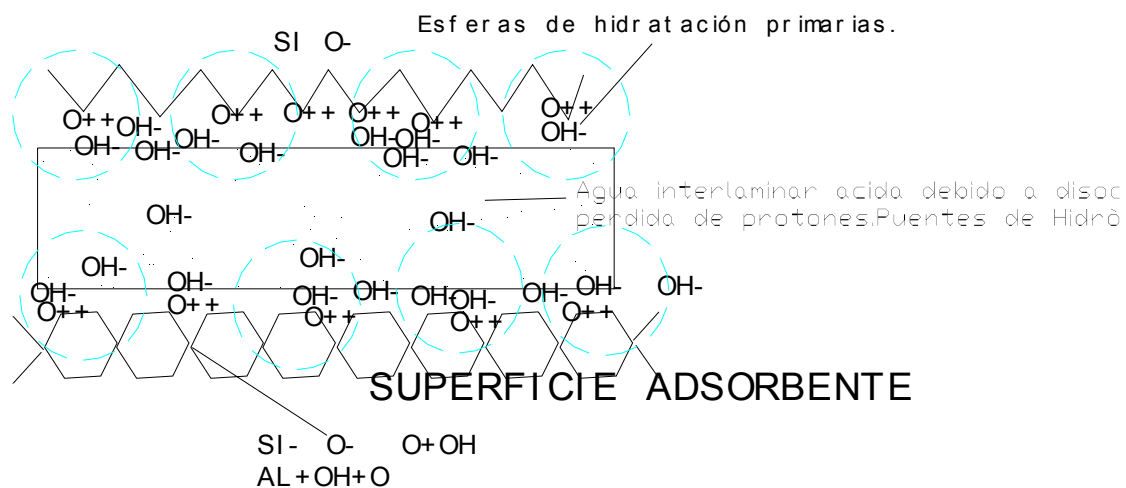
B) las interacciones químicas o de orden químico

¹⁷Clays and Ceramic Raw Materials. Aut. W.E.Rorrall Univ.Leeds UK. Edit Elsevier Applied Science Publishers Ltd.1986.

Cuando se obtiene, por efecto de la deshidratación continuada, este acercamiento interfacial de las partículas, se producen diferentes tipos de unión química entre los átomos que constituyen las moléculas de estas placas. Estas uniones son diversas y su suma constituye la fuerza de cohesión, que dará al material las cualidades como material de construcción que el arquitecto podrá utilizar al proyectar.

En primer lugar cabe considerar que los retículos cristalinos de las arcillas son desde el punto de vista teórico, eléctricamente neutros, debido a la compensación de cargas que toda estructura molecular presupone. No obstante las caras más externas de estas estructuras laminares, se encuentran más o menos compensadas por iones positivos o negativos, de una manera muy frágil, saturando de momento eléctricamente la estructura hasta un posible cambio de estado. Reiteradas investigaciones durante la primera mitad del presente siglo, han demostrado como los efectos de molturación, malaxado con agua, y erosión externa de estas caras exteriores dan normalmente un deficit de cargas. Al poner el material en contacto con el agua manifiestan experimentalmente una absorción preferente de los iones OH^- de ésta. Así toda la superficie más externa de las partículas es recubierta por cargas negativas, dando al conjunto de la partícula una carga electrostática preponderantemente negativa. Esta es la responsable de la defloculación o del fenómeno de defloculación que las arcillas experimentan en contacto con agua, especialmente sí el PH final de la solución es básico, superior a 7.

En la siguiente figura podemos ver la disposición de estas capas y como la deshidratación continuada de las pastas de arcilla con el agua provocan éste acercamiento interlaminar, que llega normalmente a unos valores tan microscópicos como de 30 a 1000 amstrongs \AA de distancia. Naturalmente a estas cortas distancias las interacciones fisico-químicas que ahora explicaremos, aún ser débiles sumadas integralmente, producen adherencia suficiente para justificar los valores de plasticidad y de la fuerza aglomerante de las arcillas, a partir de un secado a temperatura ambiental.



Las últimas capas de agua en el proceso de evaporación y secado, son fuertemente retenidas, dentro de estas distancias de sólo pocos \AA , presentandose una gran cohesión del material, originada simplemente por el elevado valor de la tensión superficial del agua en estas condiciones, próxima a las 72 dinas por cm^2 .

Otro fenómeno que participa en el proceso son las **fuerzas de Van der Waals**, que corresponden a las acciones electrostáticas entre los campos eléctricos de las moléculas en desequilibrio de carga. Las moléculas atraen a otras, a pequeñas magnitudes, decayendo esta fuerza de atracción muy rápidamente con la distancia. Tales fuerzas son causadas por cargas inducidas de moléculas polares o dipolos; aunque muy débil comparada con los enlaces químicos, son lo bastante fuertes para dar cohesión en líquidos y jugando un papel importante en las uniones de algunos minerales.

El intercambio de iones, que se produce entre la estructura molecular de las arcillas y los diferentes iones existentes en las soluciones que las hidratan, da lugar a otro grado de desequilibrio electrostático en las moléculas, que hace aumentar considerablemente estas fuerzas de unión. Los átomos con orbitales electrónicos completos, como se da en los gases inertes helio, neón y argón, son muy estables y no reaccionan con otros elementos a cualquier escala. Casi siempre, los átomos con orbitales electrónicos incompletos tienden a ganar o perder electrones para adquirir una configuración más estable; a veces pueden adquirir electrones extras de otros átomos o bien cederlos.

Considere, por ejemplo, la estructura electrónica del átomo de fluor. El primer orbital ($n=1$) se llena completamente; el segundo orbital, y en particular el subgrupo $2p$, está incompleto, por la teoría del cuántum deja un total de seis $2p$ átomos, considerando que sólo cinco están presentes en el fluor. Por eso, el átomo del fluor tiene una fuerte tendencia a adquirir un electrón extra para completar el orbital. No puede acomodar rápidamente más de un electrón extra, porque cualquier átomo además de éste tendría que estar ubicado en el siguiente orbital ($n=3$) y éste está lejos del núcleo para ser estable. Por supuesto, cuando el átomo del fluor adquiere su electrón extra, hay un exceso de carga negativa y por eso se forma un ión negativo (anión) F^- . Este electrón extra debe, obviamente, venir desde otro. Tales átomos son como el Litio Li^+ , que tienen sólo un electrón en el segundo ($n=2$) orbital y tan prontamente da este electrón impar al átomo de fluor, da por resultado un orbital completo ($n=1$) y ningún electrón en los orbitales exteriores (un arreglo mucho más estable). En este caso, la pérdida de un electrón significa que el átomo de Litio ahora tiene por completo carga positiva, llegando a ser un ión positivo. Lo más importante de este intercambio, de cualquier modo, es que los dos iones, el catión Li^+ y el anión F^- , se encuentran ahora fuertemente juntos por la **fuerza electrostática**, formandose el compuesto fluoruro de Litio, LiF . El puente de sujeción de los dos iones se denomina "**enlace electrovalente**". Los Iones sujetos de esta manera tienen una gran tendencia a formar celosías de cristal; estas raramente se forman en moléculas individuales, excepto en estado gaseoso.

En general, todo los metales alcalis (Li, Na, K, Rb, Cs) forman compuestos electrovalentes parecido al LiF , con cualquiera de los halógenos (F, Cl, Br, Y). Todos son sales típicas, siendo siempre electrolitos, porqué cuando se disuelven en agua se dividen en sus respectivos iones, siendo entonces capaces de emigrar cuando se aplica una diferencia de potencial a la solución.

Cuando los átomos desprenden electrones se denominan cationes electropositivos, mientras los que atraen electrones adicionales se dicen ser electronegativos. Fluor es el elemento más electronegativo, y el cesio es el más electropositivo; pero entre estos dos extremos hay una gran diversidad de grados de electronegatividad, gobernado por la estabilidad relativa del orbital electrónico incompleto. Una escala de electronegatividad ha estado legado al incluir todos los elementos; así, en esta balanza los halógenos tienen un valor alto, contra los metales alcalis con un valor muy bajo. Elementos tal como el boro, carbono y nitrógeno tiene valores intermedios. La formación de un enlace electrovalente involucra el traslado de un electrón de un átomo a otro, es claro que tales enlaces se formarán más rápidamente entre elementos de electronegatividad muy diferenciada.

Para elementos con electronegatividad similar, se forma un género completamente diferente de enlace, el **enlace covalente**.

Se conocen bien los enlaces que se pueden formar entre átomos del mismo elemento, como en la molécula del hidrógeno, H_2 , y otros gases. Claramente, no cabe ninguna pregunta acerca de la transferencia directa de electrones en tal molécula, en la cual el enlace no puede ser electrovalente. Por ejemplo el átomo del hidrógeno puede albergar un electrón en la primera cáscara, a dos $1s$ electrones, siendo permisibles; esto puede lograr que un electrón sea "compartido" con otro átomo de hidrógeno. Se puede mostrar por la teoría onda-mecánica que se forma hidrógeno si hay un enlace fuerte entre dos átomos a partir de que los dos electrones son "compartidos" por ambos átomos y los giros del electrón están en sentidos opuestos (por ejemplo los números cuánticos de giro deben ser de señal opuesta).

En una masa de gas del hidrógeno, existe la misma probabilidad de que cualquier átomo tenga giro negativo o positivo, habiendo en general un número igual de ambos géneros, por ello se forman moléculas H_2 . En general entre átomos diferentes se forman al compartir pares de electrones con giros opuestos, como puede ser el enlace covalente en el H_2O .

De observaciones del espectro atómico, se sabe que el átomo del oxígeno tiene sólo cuatro $2p$ electrones. Como el máximo número permisible de $2p$ electrones es seis, el átomo del oxígeno puede adquirir un estado más estable al compartir un par de electrones con cada uno de los dos átomos de hidrógeno. Para aclararlo, los electrones originalmente asociados con los átomos del hidrógeno se muestran como puntos; estos asociados con los átomos del oxígeno se muestran como cruces pequeños. Los dos "pares compartidos" de electrones se indican gráficamente más pesados. Por este mutuo compartir, ambos, el oxígeno y los átomos del hidrógeno, han llegado a ser más estables porque los pares compartidos de electrones tienen orbitales opuestos. El Oxígeno no puede tener valencia más grande que dos, porque el segundo orbital está ahora completo ($n=2$). En cambio, no puede tener una valencia menor que dos porque siempre hay dos $2p$ electrones con orbitales impares.

Muchos más compuestos tienen enlaces covalentes que se pueden formular en la misma manera, LiH , NH_3 , CH_4 , HF .

La polaridad en los enlaces

Cuando dos átomos del mismo elemento combinan formando una molécula, como en el H_2 , los electrones compartidos son igualmente distribuidos o simétricos, no resultando ninguna carga en ellos. Cuando en dos átomos diferente configuración electronegativa, con cualquier forma, los electrones no son realmente compartidos, tienden a estar más ligados a un átomo que al otro. Así, en el HCl , el átomo de hidrógeno, al ser más electropositivo que el cloro, tiende a rechazar el electrón compartido y adquiere una pequeña carga resultante positiva; de forma parecida, el átomo del cloro adquiere una pequeña carga negativa (Fig.5). Entonces si las cargas fraccionarias en los átomos son $+q$ y $-q$ respectivamente y r es la distancia entre ellos, la molécula HCl tiene un resultante de momento eléctrico, llamado momento dipolar o molécula polar, medido por $q \times r$. El momento del dipolo de una molécula depende principalmente de el valor de q , el cual depende asimismo de la diferencia de electronegatividad. Como en los últimos incrementos, la carga q también crece, y en un caso extremo el enlace entre los átomos puede no ser lo bastante largo para llegar a ser covalente, pero puede llegar a ser totalmente electrovalente con q igual en magnitud a la carga de los respectivos iones. Es decir, no hay ninguna distinción pronunciada entre los enlaces covalente y electrovalente, siendo posibles todos los tipos intermedios. Así, depende de la diferencia en electronegatividad, el enlace entre dos átomos diferentes puede ser como poseer una proporción de ambos caracteres iónico y covalente.

Coordinación numérica

Después de la exposición anterior sobre los varios tipos de uniones, se va exponer ahora cómo se construye una celosía cristalina. Aunque los enlaces en cristales inorgánicos no son totalmente iónicos, hay carácter iónico suficiente para mirar los átomos constitutivos como iones, y dibujar la celosía como esferas cargadas de una radio definido, llamado radio iónico.

En los óxidos y los silicatos, el oxígeno es el elemento de mayor electronegatividad y así da el ión O^{2-} , mientras en los elementos más electropositivos, como el silice, aluminio, etc., da iones como el Si^{4+} y Al^{3+} .

Como previamente se mencionó, una celosía es una estructura tridimensional continua en que las fuerzas de valencia o "de nube electrónica", alrededor de cada ión, son "compartidas exteriormente" con los átomos vecinos. Así, es incorrecto asignar especialmente una "molécula" a un cristal de cloruro de sodio, cada ión Na^{+} se une efectivamente a seis Cl^{-} iones que lo rodean, y viceversa. Según las reglas de Pauling, las fuerzas de valencia de cada ión se comparten exteriormente con los iones que lo rodean; así, el ión Si^{4+} está rodeado por cuatro iones de oxígeno, generalmente se da el caso, de que cada oxígeno recibe una porción de valencia positiva del silicio. Recíprocamente, cada porción de valencia positiva del silicio es satisfecha por una porción de valencia negativa del oxígeno. Para que el cristal sea eléctricamente neutro, el número de cargas positivas deben igualar el número de cargas negativas, por ejemplo el número de porciones de valencia positiva, asociadas con cada ión, deben igualar al número de porciones negativas. El número de iones que rodean a un ión dado se denomina **coordinación numérica**; esta celosía se determina por los tamaños relativos de los diferentes iones, ante la asunción de que se condensan tan estrechamente como es posible.

Por un ión dado de número coordinación n , los n iones de cerco deben tocar al ión central y a otro, tan lejano como sea posible para conferir máxima estabilidad.

En el compuesto SiO_2 , por ejemplo, cada ión Si^{4+} , de radio 0.39 \AA aproximadamente, es rodeado por cuatro iones O^{2-} , cada uno de radio 1.40 \AA , y se puede mostrarle el máximo a [geometrically] que éste es número posible de iones del cerco si todo está en contacto. Este máximo número, o co-ordenación número, depende de la radio de [cation]/ radio de anión. Así, como los acrecentamientos del [cation] céntricos en radio, la coordinación número acrecentamientos, como muestra en Table4. Haría, por supuesto, está posible rodear una ion del oxígeno con un muchísimo número más grande de iones del [silicon], pero estaría entonces imposible satisfacer los requisitos del [valency] con este arreglo del marcha atrás. Las radio del [ionic] de varios [cations] común, la proporción de la radio (con respecto a oxígeno) y el calculó y observó co-ordenación número se muestra en Table5. El observó y calculó valores está de acuerdo bastante pues, pero partidas del observaron y calcularon valores está de acuerdo bastante pues, pero partidas del calcularon valores es se espera porque se ha presentado un cuadro del [oversimplified]: las iones no son esferas duras de radio constante y por supuesto el une no está totalmente [ionic].

La Estabilización y la Durabilidad de las estructuras aglomeradas por arcillas

El mantenimiento de los muros revestidos con tierra sin una protección en cubierta es realmente dificultosa y cara ¹⁹. La peor amenaza, en el sudoeste de los EE.UU por ejemplo, es la erosión por agua.

El proceso de estabilización se define como un **método físico, físico-químico, o químico** que permite a una tierra responder satisfactoriamente a las exigencias impuestas para su utilización en una obra, con un carácter permanente.

Este proceso de mejora de las características de **resistencia ante el agua, a la retracción volumétrica y aumento de las resistencias mecánicas** viene determinado por :

- por la naturaleza química de la tierra base, su granulometría y plasticidad (**IETCC**).

-Las mejoras deseadas: respecto a los tres puntos anteriormente citados, aunque los autores del **Cra Terre** en vez de retracción hablan más de la reducción de la porosidad o sea de los volúmenes de vacío entre las partículas sólidas.

-Los productos, materiales o procesos tecnológicos disponibles.

-La evaluación económica.

-Condiciones de mantenimiento y uso.

La reducción de la retracción o porosidad, de la permeabilidad y el aumento de la resistencia mecánica permiten un aumento general de las características mecánicas y una reducción a la sensibilidad sobre la acción del agua: hinchamiento y contracción, reducción de las calidades de cohesión y de rigidez, erosión, gelificación.

Físicos

Estabilización por compensación granulométrica.

Para contrarrestar los efectos de un exceso de arcilla o una tipología mineralógica excesivamente plástica y reactiva, podemos añadir un material no plástico, como la arena, ya que, si limitamos mucho la presencia de arcillas, tendremos problemas por falta de cohesión.

La grava le da al material la necesaria resistencia, mientras que el limo aporta cierta cohesión en estado húmedo, sufriendo también variaciones de volumen y retracciones de secado.

La **estabilización por drenaje** consiste en provocar la salida de una parte del agua situada entre las partículas de la tierra, evitando a la vez su posible retorno. Sobre las tierras con alto contenido de finos es difícil de obtener, aunque es sobre este tipo de material donde se produce un efecto mayor de estabilización. La salida del agua provoca una contracción del suelo y un fortalecimiento de las uniones entre las partículas.

Estabilización por inyección, consiste en reemplazar una parte del agua situada entre las partículas del suelo por un producto que rellene los vacíos y permanezca allí impidiendo el retorno del agua. El producto de inyección deberá ser fluido para penetrar el material, así como para adherirse a él. Posteriormente producirá una buena estabilización al cohesionar

las partículas del suelo. Los principales productos de inyección son las arcillas, las cales y los cementos, los cuales deben ser mezclados con agua para conformarse como aglomerantes de inyección. En el caso de suelos finos y poco permeables se utilizan aglomerantes más fluidos como los silicatos y ciertas resinas que polimerizan en el interior de la masa plástica, como las de poliuretano¹⁸, aunque tienen el problema de su aplicación tóxica e inflamabilidad.

Estabilización por compactación. Una acción mecánica aumenta la compacidad del material. Esta puede ser: estática, dinámica o compleja (proyección, amasado) la eficacia de este sistema depende de la granulometría, del grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla óptimo (ver E. Proctor pág. 109 **Ensayos de utilización actual**). Los procesos estáticos son en general más eficaces para los suelos ricos en finos, mientras que para los suelos ricos en áridos funciona mejor la vibración.

Según el CRA Terre las altas presiones de compactación producen generalmente una caída de la resistencia y durabilidad de los bloques. En la medida que la presión ejercida no sobrepase un máximo, cualquier material de estructura flocular es menos compresible que uno de estructura dispersa en igualdad de condiciones, con la compresión las partículas se acercan y en ambos casos la estructura tiende a ser dispersa con una compresibilidad semejante. Al descomprimirse el material crece, sobretodo si ha estado ejecutado a altas presiones. Por ello aconsejan limitar la presión a 40-60 daN/cm².

La absorción de agua aumenta cuando el material compactado se encuentra en estado flocular. Un material destinado a trabajar en medio húmedo deberá por ello ser compactado con un contenido de agua más alto que el que nos determina el ensayo proctor

La **Estabilización con fibras** es una de las más ampliamente utilizadas en la elaboración del Adobe y de todos los tipos de construcción con Tierra en estado fluido y líquido, lo cual comporta la obtención de bajas densidades finales y buenos aislamientos térmicos. Éste método de estabilización, partiendo de la buena adherencia entre la tierra y las fibras, crea un armazón interno que aporta las siguientes mejoras:

1. Mejora del repartimiento de las tensiones internas y externas de la matriz terrosa. Incremento de la resistencia a flexión y a cortante.
2. Contrarrestar los movimientos y las tensiones diferenciales de retracción.
3. Mejora del secado, sobre todo ante la presencia de fibras huecas, como de trigo o bambú.
4. Recortar los efectos de la Erosión sobre los paramentos de Tierra¹⁹. Cortar posibles escorrentías verticales con gran poder abrasivo, através de crear rehundidos en los revestimientos con las manos, o bien através de dar direccionalidad a las fibras y cuidar su longitud (3-5 cms):

"... the straw is embedded generally parallel to the ground. Again, the length of straw is critical to the success of the render: long fiber won't align. One-and-one-half to two inches is optimum length."¹⁹

¹⁸ Resina Grout Soil Cat. Resistencia a compresión 116Kp/cm². Katorce BSQT.S.L Bcn. Tef 93/4532325

¹⁹ "Straw Daubs: How Fiber Cuts Erosion. Aut. E. Crocker. The New Mexico Community Foundation : Selections in Earthen Technology. Sta. Fe. EE.UU 1986

5. Obtención de una granulometría más compensada ¹⁹.

De ello se derivan dichos tradicionales de los viejos adoberos como:

"Un adobe sin paja es un adobe sin alma". New.Mexico

FIBRAS VEGETALES

- 1.-Centeno 1/4 3% en peso
- 2.- Trigo hasta un 40% de volumen(mejor un poco descompuesto hasta un 40% de volumen. La pudrición durante la siguiente semana se produce ácido lactico.
- 3.- Pinaza de Pino o de otras especies resinosas.
- 4.- Sisal 40% volumen
- 5.- Fibra y corteza de Coco. Longitud hasta 12cms.espesor hasta 3mm
- 6.- Bambú \pm 2000K/cm² Armado hormigones.Optimo20% longitud 1,5 a 2,5 cms,mejoras \pm +>5% \pm ->38% es la mitad respecto a utilizar fibras metalicas.
(etude comparative des Betons de Fibres Metalliques de Verre et de Bambou) Annales M^o 504 /1992 R. Cabrillac.
- 7.- Cáñamo. Cannabis sativa.²⁰
- 8.- Palma
- 9.- Paja de arroz molida.
Transformación con el tiempo disminuye C/N proceso de humificación se pasa a complejo orgánico mineral estable.
- 10.- Virutas de madera
- 11.-Corteza de algunos árboles. Corcho procedente del alcornoque.
- 12.- Cascara de arroz.
- 13.- Borrajo
- 14.- Desechos de la Caña de azúcar
- 15.- Grama china y cinodon dactylon ²¹

²⁰ Proyecto de sustitución de la fibra de vidrio de algunos modelos de la mercedes por cáñamo. Christian Manz. Integral

²¹ Proyecto de Cayalti.Perú. "Construir Con Tierra II. pág.114. CraTerre Colombia. Bogotá 1990. Cubierta de caña y recubierta con tierra arenosa (75% arena) estabilizada con alto contenido en fibras, y un 2% de asfalto RC-250.

FIBRAS ANIMALES

- 1.- CRIN, pelo de caballo, vaca
- 2.- Excremento de vaca o estiércol de camello cebú.

ARM. VEGETAL

- 1.- Bambú
- 2.- Yute
- 3.- Madera - celulosa

ARM. SINTETICA

- 1.- Metálica?
- 2.- Plástica.

Físicoquímicos

La estabilización físico-química forma a la vez una estructura o armazón interno, y genera nuevos enlaces químicos entre las partículas, así mismo algunas sustancias hidrófugas ocupan los espacios intersticiales y poros.

Las principales condiciones que deben cumplir para obtener una gran eficacia son:

- Efectivos en una baja concentración < 10% Ps.
- Aplicables de forma sencilla.
- Costo compatible con la mejora obtenida
- Durabilidad de la estabilización ante las variaciones climáticas o contenido del agua de amasado.

Derivados Aminicos. Son sales de amonio o de las aminas en solución en un disolvente orgánico, que debe ser esparcido en el agua. Efectivos en contenidos bajos, 1% o menos.

Resinas. La justificación más utilizada para su empleo es la formación de una matriz resistente producto de su polimerización. Se suman el efecto aglomerante de esta matriz y una sensible reducción ante la acción del agua.

Entre la gama de resinas se pueden utilizar las abiéticas, su producto de la fabricación del papel, las anilinas furfural y la resina de resorcinol-formaldeido, cuya acción es sobretodo aglomerante.

Asfaltos e hidrocarburos. Se pueden utilizar en forma de emulsión o de fluidificado (Cutbacks).

Lifnosulfitos. Producto derivado de la fabricación del papel y con la acción como ligante, también se utilizada en bajos contenidos del 1 al 2 %. Deben ser fijados con sales, ya que pierden resistencia en contacto con el agua.

Silicato de sodio. Se utiliza correactivo en las técnicas de inyección. Actua como gel sobre los suelos arcillosos dando una cohesión adicional.

La cal

Se utiliza sobretodo para la estabilización de suelos finos arcillosos, sobre todo en **montmorilloníticos** (insertar nota Estabilización de suelos Loaiza) **caoliníticos**, a partir de contenidos de un 4-10% (3-8% satisfactorios según ¡Error! Marcador no definido.). Se recomiendan los suelos de las zonas plásticas 4 a 9 y especialmente 10 a 13, con dosificaciones de agua según el ensayo Proctor.

La resistencia a la compresión de la tierra estabilizada con cal puede ser facilmente multiplicada por 4 o 5. La utilización de la cal viva permite el empleo de tierras en el momento de la abstracción con alto contenido en agua, al mismo tiempo que es más eficaz ya que a igualdad de peso contiene mayor cantidad de iones de calcio. El OCa al apagarse se hidrata formando hidróxido de cal, evitando el secado del suelo. Como el endurecimiento de la cal se produce en contacto con el CO₂ en contacto con el aire, hay que recordar que es nulo en el interior de muros o de bloques prensados. El proceso de carbonatación aumenta con el tiempo, tomando cierto valor representativo a las 30 semanas.

Al agregar productos con propiedades puzolánicas, (**puzolanas, escoria, cenizas volantes...**) se confiere cierta hidraulicidad a la cal emitiendo facilmente un aumento sensible en la resistencia mecánica, sobretodo para masas poco aireadas. Las cales fabricadas con cierto contenido de arcillas y a mayor temperatura adquieren también propiedades hidráulicas.

No se deben utilizar cales agrícolas debido a su poca reactividad con las tierras.

La cal no es tóxica y su proceso de fabricación no es contaminante, incluso puede proceder de los residuos industriales de las fábricas de acetileno.

Ésta ha sido relegada por la utilización indiscriminada del cemento portland, conllevando polémicas sobretodo generadas por el abandono de un recurso local y la rehabilitación de edificios del patrimonio arquitectónico con materiales inadecuados. así destacamos como ejemplo la polémica²² en Ibiza sobre la restauración de las iglesias tradicionales, muchas de tapial y encaladas, con pinturas plásticas y cemento. Del mismo modo ocurrió en New

México, en muchas de las Iglesias históricas de adobe, rehabilitadas en los años 50-60 con morteros de cemento, esperando una solución definitiva, han quedado sus paramentos en un estado lamentable por los problemas de adherencia y evapotranspiración.

“Continuar la utilización de los hornos de cal ayuda a la conservación de los bosques, potencia un turismo alternativo, disminuye la contaminación, da un ahorro económico y crea lugares de trabajo autóctonos.”²²

Se postula que su utilización fomentaría la limpieza de los bosques, reduciendo consiguientemente el riesgo de incendios, ya que los hornos de cal se alimentan de ramas, ramillas y elementos de poda.

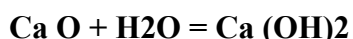
La cal es un material obtenido a partir de la calcinación de piedra calcárea. De esta piedra se extraen diferentes cantidades de cal dependiendo de su pureza, así por ejemplo en una piedra calcárea pura esta constituida totalmente por carbonato cálcico y por su composición consta de 44 partes en peso de CO₂ y 56 partes de CaO. Por tanto la cantidad de cal que se extraerá de una piedra calcárea pura será de 56 partes en peso respecto a la piedra original.

A pesar de ello este tanto por ciento elevado de cal raramente se presenta en la realidad ya que lo más normal es encontrar la piedra calcárea impura y no en su estado más puro.

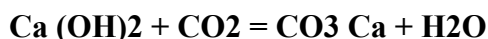
El proceso de calcinación sigue la siguiente reacción:



Posteriormente durante el apagado la reacción que sigue es la siguiente:



De esta manera se obtiene hidróxido cálcico deshidratado, que en su fase de utilización en la puesta en obra se recarbonata siguiendo la reacción química siguiente:



Cuando la piedra calcárea, que se calcina, contiene impurezas de sílice o alúmina se requiere una temperatura de cocción de 1200°C. Entonces se disocia el carbonato dando anhídrido carbónico y óxido cálcico, el cual reacciona posteriormente con los contenidos arcillosos, obteniendo una cal denominada hidráulica por su propiedad de fraguar en ambientes húmedos o incluso en inmersión.

Dependiendo de las características de las rocas de materia prima se podrán obtener gran variedad de cales, desde las altamente cálcicas hasta las altamente hidráulicas que están a medio camino entre las cales y los cementos, con un contenido de óxido de calcio inferior al 50 %.

Según la normativa española las cales aéreas se clasifican en Cal aérea I y Cal aérea II teniendo la primera un contenido mínimo del 90% de Ca + Mg O y máximo del 5% de CO₂ mientras que en el tipo II estos porcentajes serán de 60 y 5 respectivamente.

²² “Forns de cal”. aut. Toni Manonelles y “de la Cal al cemento” aut. Carme Planells. VI Quaderns del TEHP. Edit. Taller d’Estudis del habitat Pitiüts. 1994

La cal aérea tipo I se utiliza preferentemente para los revoques, blanqueados, acabados y morteros de albañilería, mientras que el tipo II se utiliza para trabajos menos pulidos y morteros para fábricas de albañilería.

Según la normativa española las cales hidráulicas se clasifican en Cal hidráulica I, Cal hidráulica II y Cal hidráulica III dependiendo de sus características de hidraulicidad. La cal hidráulica I tendrá un mínimo del 20% de $\text{Si} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}$ y un máximo del 5% de CO_2 . Este máximo de CO_2 es común al tipo II y tipo III mientras que el otro porcentaje varía siendo del 15 y 10% respectivamente.

Propiedades de la cal

-Densidad

La densidad de conjunto de las cales, determinada en masa sin compactar, puede estimarse del orden de 0,4 Kg/dm³ para cales aéreas y del 0,5 a 0,9 Kg/dm³ para cales hidráulicas, lo cual se incrementa según el grado de hidraulicidad.

La densidad real de la cal aérea es de 2,25 Kg/dm³ y la de la cal hidráulica de entre los 2,5 y los 3 Kg/dm³.

-Endurecimiento

El exceso de agua utilizado en el amasado de la pasta es sustituido por el CO_2 contenido en la atmósfera pasando de nuevo del estado hidróxido a carbonato cálcico y cerrando el ciclo iniciado en su obtención.

Este proceso de carbonatación por contacto con el aire se trata de un proceso lento, que aún se incrementa más en las cales dolomíticas, o en elementos estructurales en masa.

En las cales hidráulicas además de la carbonatación del hidróxido cálcico se produce la hidratación de los silicatos y aluminatos, entrecruzándose estos en sus cristalizaciones formando una estructura cada vez más rígida.

Este proceso de fraguado no puede empezar antes de dos horas de su amasado ni terminar después de 48 horas, en las cales hidráulicas.

-Plasticidad

Las cales en general son productos muy plásticos, capaces de absover grandes tensiones y deformaciones sin disminuir su capacidad resistente. Dan facilidad a ser extendidas con la llana y trabajabilidad en obra a los morteros de cemento.

En general son más plásticas las cales magnésicas que las de alto contenido en óxido cálcico.

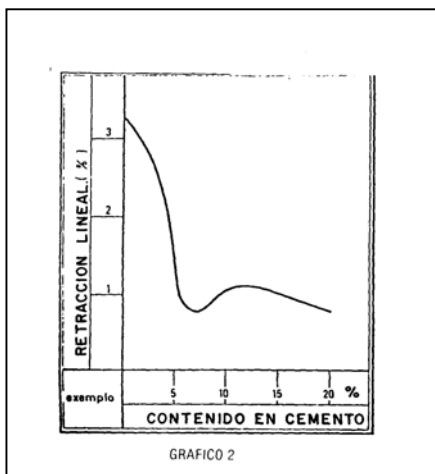
-Estabilidad de volumen

La cal presenta un fenómeno de expansión más o menos grande después del fraguado, generalmente al cabo de unos meses de su utilización por dos motivos: la posible existencia de cal libre sin hidratar que al apagarse incrementa el volumen y la presencia de óxido de magnesio sin hidratar, fenómeno más común, ya que la hidratación del MgO es muy lento.

Por otro lado el fraguado y endurecimiento de la cal va acompañada de una retracción debida a la pérdida de agua de amasado que siendo parcialmente compensada por la absorción de CO₂ no puede evitar la retracción. Este problema sólo suele pasar en pastas puras, pues con la adición de arena se atenúa mucho la retracción.

El Cemento portland.

Aumenta la resistencia (buen curado, mezcla y compactación). Se aconsejan ¡Error! Marcador no definido. dosificaciones mínimas de 6% hasta un 12% (4-10% según Ma. Jesús Guinea ¡Error! Marcador no definido. o CRA Terre) en función de su buen comportamiento a la retracción, a la resistencia y a la abrasión, y a la economía de medios (para bajos grosores estudiar su viabilidad económica enfrente a otras tecnologías).



No es adecuado para tierras excesivamente arcillosas (se aconseja LL < 50 y < 30% de las arcillas). En general para las construcciones con tierra conviene utilizar suelos con bajo Índice de Plasticidad, ya que todo lo mayor que sea, mayor será la cantidad de agua necesaria para hacerlos moldeables, así como al secarse habrá mayores retracciones. ¡Error! Marcador no definido.

Para un IP de 15 con Resistencia a inmersión nula, con estabilizaciones de 2% de cemento, se consiguen resistencias de $1/8 \sigma_s$ en seco, y con un 5% de $1/4 \sigma_s$. Se aconseja su utilización en tierras con pH > 7.

La velocidad de endurecimiento de las tierras estabilizadas con cemento es variable según el tipo de arcilla presente, aunque es indispensable mantener 14 días de curado y esperar 28 días a la entrada en carga. Se mantendrá el material en un ambiente húmedo durante este período

Al agregar productos como la **sosa Na OH**, el **carbonato sódico Na CO₃**, el **sulfato de sodio Na SO₄**, el **metasilicato de sodio Na₂SiO₂**, pueden algunos suelos reforzar este tipo de estabilización. El **cloruro de calcio** actúa como acelerante. Por el contrario la presencia en el suelo de materia orgánica y sulfatos es perjudicial. La adición de **melamina**, **anilina**, **acetato de amina** o **cloruro de hierro** reducen la sensibilidad al agua en algunas tierras. La adición de **cal** puede modificar la plasticidad, limitar la formación de nódulos, y reducir la acción de la materia orgánica presente.

Clare y Farrar²³ demostraron que el **módulo de finura** de un cemento era influyente en el grado de estabilización, así comprobaron que un suelo estabilizado al 7% con un grado de finura < 55µ equivalía a estar estabilizado con un 10% de cemento normal. Esto significa

²³ The use of cements of different finesses in soil-cement mixtures. Clare y Farrar D.M Edit. Magazine of Concrete Research, 8 (24) : 137-144, Nov. 1956

que un grado alto de finura puede llegar a dar ahorros de hasta el 30% de cemento. Por tanto lo mismo ocurre con la arcilla ¡Error! Marcador no definido. (pag.87). Los elementos finos arcillosos deben estar disociados y no aglomerados en terrones o nódulos, con un tamaño <20mm. La presencia de un 50% de nódulos > 5mm. reduce a la mitad la resistencia a la compresión.

Felt y Clare también estudiaron la estabilización con cementos de altas resistencias iniciales, consiguiendo buenas resistencias al principio y una reducción considerable de los efectos de la materia orgánica.

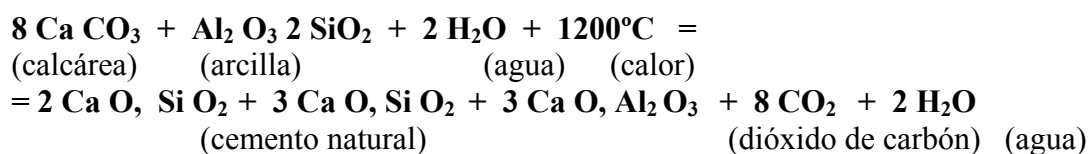
El Cemento Natural

El cemento natural es un conglomerante hidráulico obtenido a partir de la calcinación de margas naturales a una temperatura de unos 1.200 °C, inferior a la de clinkerización del producto.

Algunas de las aplicaciones de los morteros naturales en obras conocidas son las bóvedas como las de la Sagrada Familia en Barcelona (Catalunya), la estabilización de taludes y estabilización en obras de ingeniería civil como el Eurotúnel del Canal de la Mancha que tiene 50 Km. de longitud y fue construido en 1994 para unir Francia con Gran Bretaña. Los cementos naturales se obtienen a partir de la calcinación de margas naturales, a una temperatura de unos 1200 °C, antes de llegar a la temperatura de clinkerización.

La marga es una roca sedimentaria que contiene arcilla y de un 35 a un 65% de carbonato de calcio (entremedio de lutitas y calcárea, que aportan arcilla y carbonato respectivamente). Es de aspecto terroso, bastante friable y, a causa de la frecuente presencia de pirita, de color grisáceo.

La composición química y reacciones durante el proceso de obtención del cemento natural se desarrolla según la siguiente expresión:



El sistema de producción del cemento natural se inicia con la obtención de la materia prima que variará si se trata de cemento natural obtenido a partir de marga de cantera o cemento natural obtenido a partir de roca sedimentaria procedente de cantera.

El cemento natural procedente de cantera se obtiene de piedra sedimentaria extraída de la montaña por dinamitar y posterior recogida del material con pala. Esta es la fase de obtención de la materia prima para la posterior elaboración del cemento natural y presenta la problemática de que la materia prima recogida es heterogénea presentando cualidades variables.

El cemento natural procedente de mina se obtiene a partir de margas naturales estratificadas que se extraen por medio de la actividad minera. Las margas al ser rocas sedimentarias se encuentran estratificadas favoreciendo la extracción en la mina, compuesta por galerías que penetran en el estrato, desde las que se extrae la roca en su estado natural sin meteorizar, ni alterarse sus propiedades. Este sistema de extracción y producción proporciona unas

mejores calidades al cemento natural, ya que se dispone de una materia prima de mayor calidad, de propiedades constantes y homogénea.

El sistema de producción más habitual en este sector es el de la producción y cocción mediante hornos verticales y por vía seca, dada su economía de instalación y explotación.

Los hornos verticales son los utilizados tradicionalmente para la fabricación de esta clase de cementos, y en muchos casos siguen en las mismas condiciones que en el momento de su construcción ya que actualmente la producción del cemento natural se trata de explotaciones poco tecnificadas de pequeña producción y por las cuales esta clase de hornos es lo que da mayores rendimientos.

En ambos casos una vez se ha obtenido la materia prima, tanto por un procedimiento como por el otro, se transporta ésta hasta la planta productora con camiones. Las materias tal como llegan se preparan para su cocción, triturando los trozos en que el material sea excesivamente grande sobretudo en el caso de las canteras ya que en el caso de que la materia prima proceda de la mina, el tamaño obtenido es el adecuado para su cocción en el horno vertical.

Una vez preparado el material, este se coloca en el horno mezclado con el combustible que será la fuente energética para la generación del calor. Este material suele ser el carbón o antracita, con aditivos o sin, mezclando con la materia prima y depositándose en el horno vertical.

En el interior del horno el material llega a una temperatura de 1200 °C, realizando así el proceso de cocción de las margas una vez deshidratadas completamente. Aún y así para el propio proceso de producción, en el producto obtenido se encuentran partes del material que no han llegado a la temperatura adecuada y no han realizado la cocción y otras partes del material que en contra han estado demasiado cocidos y han iniciado la clinkerización.

Aunque estos fenómenos no se dan con demasiada proporción y, por tanto, no tienen una importancia excesiva, no son los deseados para la obtención de un cemento natural de alta calidad ya que supondrán una alteración en las propiedades del producto.

Posteriormente el material ya cocido se recoge del horno y después de un tiempo de reposo se procede al triturado de la muestra por medio de diferentes dispositivos según la empresa productora pero que generalmente suelen ser una machacadora de martillos y/o un molino. El material se tritura hasta una granulometría muy fina reduciéndolo prácticamente a polvo y tamizándose posteriormente previo a su secado.

En este proceso desaparece la mayor parte de las impurezas que contenía la materia prima cocida, ya que tanto la piedra poco cocida como la excesivamente cocida tienen durezas superiores a la piedra cocida y, por tanto, en el proceso de triturado no llegan a una granulometría tan fina como la que llega al producto de buena calidad. Estas sobras que no pasan por el tamiz son eliminadas del producto, consiguiendo que alteren las propiedades del material final en muy poca cantidad.

El cemento natural así obtenido, es secado y preparado para su distribución. Los sacos que contienen este material, deberían de ser sacos plastificados para garantizar una mejor conservación del producto, aunque es recomendable utilizarlo antes de dos años desde la su fecha de fabricación para tener las máximas garantías de que ha mantenido sus

características durante el almacenaje y no ha estado alterado. Aún y así, esto también dependerá de las condiciones en que se almacene.

Las utilizaciones más frecuentes por el cemento natural son obras del ramo de la albañilería, pequeñas obras de hormigón en masa, en estabilizaciones de terrenos, en impermeabilizaciones de túneles o galerías, en trabajos de inmersión y el tipo CZ para construcciones marítimas.

Propiedades del cemento natural

Una de las principales propiedades del cemento natural rápido, es justamente ésta: su rapidez de fraguado.

Podemos diferenciar principalmente dos composiciones diferenciadas: los cementos naturales de mina y los de cantera. Los primeros tienen más del 20% de Aluminato tricálcico, C_3Ca , duplicando a los cementos naturales de mina. Esto les permite combinarse con el yeso hasta un 7% por encima que el cemento portland para formar sulfoaluminatos cálcicos expansivos.

Las velocidades de fraguado según la tipología y denominación (antigua) son las siguientes:

CZ..... entre 5 y 25 minutos.
NR-20..... antes de 30 minutos.
NL-30..... entre 30 minutos y 12 horas.
NL-80..... entre 30 minutos y 12 horas.

En estas velocidades de fraguado dependerá tanto la composición de la marga como las temperaturas de cocción a las que esta sometida la marga durante el proceso de obtención del cemento:

De 1000 a 1150°C = cementos rápidos.
De 1150 a 1300°C = cementos semilentos
De 1300 a 1450°C = cementos lentos

La denominación actual se hace denominando las letras CN seguidas de la R para los rápidos o de la L para los lentos, añadiendo a continuación la cifra que indique la clase de resistencia (4 N/mm² o 8 N/mm²) y denominando la norma UNE 80-309-94.

Actualmente prácticamente sólo existe la fabricación de cementos naturales de fraguado rápido dado que las prestaciones de los otros dos se obtienen también y con mejores características resistentes por medio de la utilización de cementos artificiales.

Otra propiedad del cemento natural, es su resistencia frente a la humedad y su capacidad de fraguar en presencia de esta. El cemento natural incluso adquiere más resistencia por la presencia de agua o humedad durante el transcurso de su vida útil.

El índice hidráulico del cemento natural está comprendido entre:

$$0,45 < (S + 0,2 A) / C < 0,5$$

La densidad mediana del cemento natural es de 1,1.

El color del cemento natural es grisáceo térreo.

Una propiedad del cemento natural que le da una característica especial es que no se puede o no es recomendable mezclarlo con áridos, pues la resistencia baja en picado y, por tanto, no será un material adecuado para hormigones de alta resistencia, hormigones armados o morteros con solicitaciones importantes.

Con el paso del tiempo, sobretodo a largo termino, este cemento puede llegar a adquirir la resistencia de la piedra original, sobretodo en presencia de agua y siempre y cuando en los primeros momentos de su colocación no le hayan afectado las heladas.

Así en cuanto a gasto energético para la producción intervendrán la extracción de la mina con unos compresores de inyección de agua y aire comprimido de 75 Cv por la gran longitud de tubería y pérdida de carga, el transporte en camión caja de 160 Cv de potencia y un consumo de 2,47 Km./l, desde la mina al centro de producción con una distancia muy corta (aproximadamente 3 Km.), la cocción de las margas con carbón de una potencia calorífica de 30,7 Kj/Kg., la pala cargadora con un consumo medio de 23 l/h, por el transporte de la materia prima, los molinos de martillos de 30 CV de potencia y el de bolas 50 Cv de potencia y un rendimiento del 75% y la máquina de secado de 6,5Kw.

De estos datos recogidas, del rendimiento de la maquinaria, del volumen de producción y de las repercusiones energéticas por saco se obtiene que el coste energético del cemento natural está alrededor de los 2,6 MJ/Kg. mientras que el cemento artificial esta alrededor de los 7,2 Mj/Kg. Esto supone un ahorro energético del 65% aproximadamente de la energía necesaria para la obtención de un Kg. de cemento artificial, y por lo tanto unas menores emisiones de CO2.

Mezcla mixta Cal + cemento.

Aconsejable para ladrillo (menos quebradizo), y en suelos plásticos.

El yeso.

Es un material de muy bajo coste energético, ya que el sulfato de calcio se convierte en hemihidrato a temperaturas tan bajas como a los 170-130°C, perdiendo una molécula y media de agua. Ello permite incluso en países del Sur, la utilización de hornos solares para su cocción.

Éste yeso deshidratado se denomina yeso cocido, el cual una vez pulverizado y amasado con agua sé rehidrata volviendo a formar el sulfato cálcico dihidrato.

Durante el fraguado, se produce el desprendimiento de calor de esta reacción que es exotérmica, y, también se produce un incremento volumétrico rápido debido a la cristalización del producto. En el proceso de secado se produce una cierta retracción que de todas formas no llega a anular la expansión inicial. Éste hinchamiento final es del orden del 0,3 al 1,5% dependiendo del tipo de yeso, cantidad de agua y temperatura exterior.

Se ha podido constatar que con ciertas arcillas genera una estabilización durable en ambientes húmedos, lo cual aumenta con la presencia de cal. El fenómeno va relacionado seguramente con la formación de fases SA de sulfoaluminatos, resultado de combinación de la, Al_2O_3 , alúmina soluble liberada en la hidratación de la tierra y el SO_3 , el ion sulfato del yeso.

Funciona muy bien combinado con fibras²⁴, como el sisal de 3.5/4 cms, y armaduras como de yute, poliéster o galvanizada. La relación de agua óptima para conseguir un máximo esfuerzo cortante es 0.6.

TIPOS DE YESOS

- A Temperatura ambiente:

- Anhidrita natural
- Dihidrato

- Hasta 180°C: Hemihidrato

- a Alfa
- b Comercial: negro, blanco, escayola.

- Hasta 300°C:

- Anhidrita: soluble a o b

Gallitelli²⁵ describe el hemihidrato como una estructura monoclinica deformada con 12 moléculas de $SO_4Ca \cdot 1/2 H_2O$ en la célula fundamental, y dice que la red posee una gran estabilidad debido a que los átomos de calcio y los tetraedros del ion sulfato están colocados de tal forma que existen unas poderosas fuerzas entre los átomos de calcio de una capa y los tetraedros de sulfato de la adyacente y que además, existen unos canales en la red en los que están situadas las moléculas de agua.

Las fuerzas que unen las moléculas de agua con los iones de calcio y de sulfato son más débiles que las que unen a estos iones entre sí, y esto permite que toda o parte del agua sea eliminada sin que varíe la red estructural.

Conforme va subiendo la temperatura de calcinación de la piedra de yeso se van obteniendo productos diferentes que adquieren propiedades diferentes. De 120°C a 170°C se obtiene el hemihidrato, del que existen dos formas altrópicas llamadas yeso a y yeso b. El hemihidrato a es más compacto. Los trozos de yeso transformados en hemihidrato a tienen un aspecto sedoso brillante, resultante de la presencia de multitud de finos cristales aciculares entremezclados entre sí. Por el contrario, el hemihidrato b es esponjoso y apenas pueden reconocerse en él caracteres cristalinos, ni siquiera recurriendo a mayores aumentos. Los fragmentos de yeso transformados en hemihidrato b presentan un aspecto terroso. La de forma b es la de mayor contenido energético y la más soluble, y, por consiguiente, la de menor estabilidad.

En la siguiente tabla podremos apreciar las propiedades técnicas de ambos hemihidratos:

²⁴ El Yeso armado. Informes de la Construcción. Vol.45 nº 425-426 Edita: IET

²⁵ Yesos y cales Aut. Francisco Arredondo y Verdú Colegio de ingenieros de caminos, puentes y puertos.

HEMIHIDRATO

		a
b		
	Peso específico (g/cm ³).....	2,757
	2,637	
	Calor específico medio (de 25°C a 170°C) (kcal/kg).....	0,227
	0,254	
	Solubilidad en agua:g de CaSO ₄ por 100g de solución a 20°C.....	0,67
		0,88
	Calor de hidratación (cal/mol).....	4.100
	4.600	
	Calor de hidratación (kcal/kg de dihidrato).....	23,81
	26,72	
	Consistencia normal (cm ³ de agua/100g de hemihidrato).....	35
		90
	Tiempo de fraguado en minutos.....	15-20
	25-35	
	Expansión.....	0,0028
	0,0016	
	Resistencia media a la tracción una hora después del fraguado, húmedo (kg/cm ²).....	35
		6,6
	Resistencia media a tracción en seco (kg/cm ²).....	66
		13
	Resistencia media a compresión, una hora después del fraguado, húmedo (kg/cm ²).....	280
		28
	Resistencia media a la compresión en seco (kg/cm ²).....	560
		56

De 170°C a 250°C se forma la anhidrita soluble, que presenta una gran avidez por el agua, por lo que es muy inestable, pasando rápidamente a hemihidrato al absorber la humedad atmosférica. También se presenta en las dos formas a y b, según el material del que proceda. Ambas contienen algo de agua residual. En el campo de la construcción no son nunca utilizadas.

Químicos

Para la obtención de fases de gran resistencia y durabilidad partiremos de la obtención de fases SCH con cementos portland y fases ACH con el yeso, sulfatos, cemento aluminosos, cementos naturales, y la cal. a.- Aceites naturales: coco, savia de caucho, savias naturales, látex, residuos prensados de oliva,....

b.- Betunes (limitado a ladrillos).

c.- Silicatos de sosa y la orina.

d.- La cal viva o apagada; resistencia final. Cemento con dos semanas de secado lento.

e.- Resinas acrílicas.

f.- El empleo de los etilsilicatos, el hidróxido de bario, el ácido húmico, el ácido tánico, resinas acrílicas

g.- Musílogo de Tuna

y.- Yema de huevo.

j.- La utilización de las adiciones activas puzolánicas.

Adiciones activas con efecto puzolánico.

El denominador común de estas adiciones es la gran cantidad de sílice soluble, de estructura amorfa, presente en su composición, surgida por procesos naturales o industriales de calentamiento y enfriamiento bruscos. Ésta en combinación con la cal forma fases estructurales tipo SCH similares a las que originan los silicatos C3S C2S del cemento portland.

Entre las adiciones naturales podemos destacar:

-Cenizas de la industria del azúcar.(Cuba)

-Cenizas de la cáscara de arroz:

La cáscara de arroz se ha estudiado²⁶ como un posible sustituto de árido fino, que le da al material ligereza, aislamiento acústico, y aislamiento térmico. Sin embargo antes de aplicarse en el mortero o en el hormigón debe mezclarse, durante 24 horas, con una disolución de cal al 5% con tal de eliminar las sustancias orgánicas, y evitar así la aparición de patologías como las eflorescencias. Además esta disolución aumenta las resistencias a compresión del material. Las cenizas de la cáscara de arroz es un subproducto obtenido a 700°C durante 3-4 horas, para favorecer su estructura amorfa, y por consiguiente su reacción con la cal.

Se considera un material puzolánico de actividad media, lo que comporta que los morteros o hormigones de mayor resistencia sean a base de cemento y no de cal.

Es muy importante que la cáscara de arroz y posteriormente sus cenizas estén muy bien molidas pues de esta forma facilitaremos la reacción con la cal y por lo tanto su comportamiento puzolánico.

Dosificaciones: (pueden hacerse morteros con cal, pero los resultados no son tan satisfactorios)

Hormigón: 40% cemento + 40% ceniza volante + 20% de cáscara de arroz tratada
50% de ceniza de cáscara de arroz + 15% de cal + 15% de cemento + 20% de cáscara de arroz tratada

Morteros: 67% cemento + 33% ceniza de cáscara de arroz
50% cemento + 50% ceniza de cáscara de arroz

-Piedra pómez, lapilli, o puzolana (Puzzoli, Italia)

Materiales volcánicos de enfriamiento rápido.

Es un árido ligero, formado por un vidrio volcánico ácido, con fragmentos de riolita, perlita, cuarzo, feldespatos, hornblenda y accidentalmente mica.

Su resistencia es baja, con una absorción de agua que varía entre un 35-50% en peso, y una densidad entre 500-800kg/m³. Debido a que su densidad es tan baja, el hormigón se vuelve más ligero.

Se consideran materiales puzolánicos por su capacidad de reaccionar con la cal a temperatura ambiente y en presencia de agua para formar compuestos insolubles y estables, que endurecen bajo el agua.

²⁶ *Contra el Hambre de Vivienda. Soluciones tecnológicas Latinoamericanas. Aut. Julián Salas Serrano Edit. Escala, Bogotá 1992*

Ejemplo de dosificación²⁷:

1 parte de cal por 2 partes de piedra pómez

Las proporciones con hormigones de cemento deberán ser, aproximadamente de 2 partes de cemento por 1 de piedra pómez

Entre las adiciones industriales podemos destacar:

-El Metacaolín.

Se trata de Caolín calcinado a 1020°C, y enfriado rápidamente. Es rico en SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃.

-El polvo cerámico.

De la chamota de la fabricación de materiales cerámicos a baja temperatura 800^a-1000^aC, se posee otro material amorfo rico en silice.

-Cenizas volantes.

Son los residuos que se extraen de las centrales termoeléctricas, básicamente las que requieren carbón para su uso. Estos residuos están entorno a un 5-50% de material neto que entra en la central.

Según la UNE 83415-87 se las define como: Subproducto sólido de fina división de carbón pulverizado en los hogares de centrales termoeléctricas y que es arrastrado por los gases del proceso y recuperado de los mismos en los filtros.

Composición muy variable según la naturaleza del carbón de origen (hulla, antracita, lignitos, mezclas...) Se dividen en dos grupos: Altas en cal (Sulfocálcicas o silicocálcicas) y Bajas en cal (silicoaluminosas)

Se consideran materiales puzolánicos por su capacidad de reaccionar con la cal a temperatura ambiente y en presencia de agua para formar compuestos insolubles y estables, que endurecen bajo el agua.

Las cenizas altas en cal, de acuerdo con los compuestos mineralógicos que las constituyen, poseen características hidráulicas, es decir endurecen bajo el agua, por lo que son más adecuadas en ellas.

Proporciones

²⁷ Materiales de construcción. Hormigón Aut. Luis Galán Gutiérrez Edit. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. 1983

Puzolana natural + ceniza volante.....	6-23%
Clínker.....	65-88%
Cenizas volantes.....	6-28%
Clínker.....	72-94%
Puzolanas naturales o Cenizas volantes.....	40%
Clínker.....	60%

NOTA ²⁸: La mezcla de cenizas volantes y puzolanas naturales no puede superar un 5% en cementos: Portland tipo I-O, Aluminoso y Tipo II.

Escorias de acería²⁹:

Es un subproducto de la fabricación del acero, el cual representa un 8% de la carga total de los hornos. Su composición química viene condicionada por el tipo de acero, los aditivos y el proceso de producción empleado. Generalmente posee menos aluminatos y silicatos y más cal que las escorias de altos hornos.

La escoria queda depositada en la parte inferior de los hornos, desde donde se transporta por dumpers y excavadoras a grandes superficies. Allí permanecerán un año a la intemperie, para que se apague el alto contenido de óxido de cal OCa o cal viva, convirtiéndose en hidróxido de cal. Posteriormente la escoria es triturada por un drop-wall y cribada hasta obtener granulometrías más finas. La parte metálica es retirada a través de un proceso electromagnético y devuelta al inicio de la producción.

Componente	para <12.5mm %	para <5mm. %
Fe (total)	15	15.4
Fe II	5	3.7
Fe O	7	8
SiO ₂	29.9	35.3
CaO	30.7	23.0
Al ₂ O ₃	4.88	5.28
MgO	4.85	5.28
Otros metales	0.623	0.606
P,S,Pb,Cu,Zn.		
Mn	2.98	5.69
K ₂ O	2.27	3.17

La arena de escoria tiene muchos finos, lo cual hace que se rechace para la fabricación de hormigones. Normalmente se utiliza grava de escoria con gradación 5/15 y 15/25, una densidad de 1540 Kgr/m³ y una absorción de agua del 2.3%,, que pasa 2.5% con presencia de finos, lo cual es suficiente para estar bajo el máximo del 5% para cumplir la UNE 7083. Por cada 1000Tn de fundición, se obtienen 700Tm de estéril (escorias).

²⁸ Aplicaciones de las cenizas volantes en el campo de la construcción. Experiencia española. Aut. M.C. Alonso y M.P. de Luxán Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y Consejo Superiores de Investigaciones científicas. 1995

²⁹ HORMIGÓN DE RECICLAJE Y DE HORNOS DE ACERÍA. Proy. Final carrera UdG. Aut. Cristina Massot Bayés, Nuria Puig y Montserrat y Marta Porta Banús. Tutor Joaquim C. Sampaio.Catedr. Ingeniería Civil. Univ. de Oporto.Portugal 1997

Se consideran materiales puzolánicos por su capacidad de reaccionar con la cal a temperatura ambiente y en presencia de agua para formar compuestos insolubles y estables, que endurecen bajo el agua. La ventaja de este producto es que la reducción de la proporción agua/cemento no provoca una variación en la resistencia del hormigón²⁷.

Métodos y normativas de identificación de suelos y de ejecución de obras de tierra estabilizada

Normas y recomendaciones de Ejecución de Obras de Tierra

- Como antecedentes normativos para la regulación de la Construcción con Tierra, nos debemos remontar hasta mediados de siglo. Así en 1944 el Ministerio Francés de la Reconstrucción y el Urbanismo, inicia la investigación sobre los muros de Tierra estabilizada, en el laboratorio de control de Véritas, Ivry cerca de París.

Al mismo tiempo se intenta la normalización en la Oficina Nacional de Standards de EE.UU y en Alemania.

En base a esto, en 1945 se establecen en Francia, los tres primeros documentos técnicos (REEF) :

DTC 2201. Hormigón de Tierra estabilizada

DTC 2101. Construcción en Hormigón de Tierra

DTC 2102. Hormigón de tierra estabilizada con aglomerantes hidráulicos

Las condiciones técnicas en que estas primeras normas inciden, son tan solo sobre dosificación, resistencia característica y proceso de ejecución.

Se establecen los siguientes parámetros técnicos: Resistencia a la compresión de 15Kp/cm²; coeficiente de trabajo en muros exteriores de 1Kp/cm² y de 2Kp/cm².

UBC 1958. Uniform Building Code U.S.A. Estas normas para la construcción con adobe estabilizado establecen los siguientes parámetros:

-compresión mínima de 24Kp/cm²

-módulo de rotura mínimo 4Kp/cm²

-absorción máxima a los 7 días del 2,5% del peso seco

-contenido de agua máximo 4% del peso seco

-profundidad media de huecos provocados por la erosión 0,5 cm

-las fisuras deben ser menores de 3mm. de ancho y 7,5cm de largo. Con menos de 3 fisuras por bloque.

-Recomendaciones de la ONU. Centro Interamericano de la Vivienda CIMBA.

-Resistencia mínima en estado húmedo de 14Kp/cm²

-Pérdida de peso después de 12 ciclos de humectación y secado de un 5% en construcciones urbanas, y hasta un 10% si el clima es seco.

-En construcciones rurales sencillas un 10% en todos los casos

-El módulo de esbeltez debe ser inferior a 18

-Los coeficientes de seguridad respecto a la resistencia de compresión serán según el módulo de esbeltez del muro

módulo de esbeltez H/A	coeficiente de seguridad
16	41
14	25
10	18
6	12

Recomendaciones para el adobe estabilizado en Perú.

-Resistencia mínima a compresión de 14Kp/cm².

-Módulo de rotura superior a 3,5Kp/cm².

-Coeficiente de absorción debe ser inferior al 4%.

-Recomendaciones de Middleton. Australia.

-La relación de espesor de los muros portantes en su base y la altura total no debe ser menor que 1/18

espesor del muro en m.	0,3	0,35	0,4	0,45
altura del muro	2,75/3	3/4	3/5	3/5,5
altura entre dos niveles	4/5	4/6	5/6,7	5/6,3
longitud máxima entre 2 refuerzos del muro en m.				
muro sin vano	9	10,75	12	13,75
muros con uno o varios vanos<1,4m	7,3	8,5	9,75	11
muros con un vano en el extremo	6,5	7,5	8,5	9,5
muro con varios vanos o uno de 3,6m. de ancho	5,5	6,5	7,3	8

- En 1995 a partir del fórum industrial de CONSTRUCT'95 en Libreville en Gabón, organizado por el UDFEAC y el CDI (Centro para el Desarrollo Industrial de la Unión Europea), se desarrolla un enorme interés, por las empresas medianas y pequeñas de los países Africanos de la Zona, en la utilización del BTC. Esto motivó la elaboración, por estas organizaciones, de una **Guía Normativa sobre el BTC en les Pays ACP (Afrique Caraïbes Pacifique)**,³⁰ que sirviera para la posterior elaboración de normas Nacionales.

- Pima County/City of Tucson, ' 1994 Building Code modifications, appendix Chapter 71: Earthen Materials Structures, Appendix Chapter 71-1: Standard methods of sampling and testing of Earthen Building Materials, Appendix Chapter 72: Straw Bale Structures'.

Recomendaciones de diseño antisísmico

Recomendaciones de diversos autores y factores fundamentales en el diseño antisísmico^{u uu} :

- Ubicación adecuada de la estructura

-Obtener una tierra estabilizada con resistencia y rigidez por unidad de peso máximas³¹ .

-Obtener un factor de amortiguamiento del material elevado, mostrar un comportamiento estable ante las cargas cíclicas alternadas y presentar una fácil adaptabilidad formal.

Mientras para el primer factor el adobe responde muy bien, para el resto no, y, además, no soporta bien las tracciones.

-Distribuir las cargas uniformemente y si es posible simétricamente.

30 CRA-Terre. Centre International de la construction en terre-École d'architecture de Grenoble/ ORAN-Organisation Régionale Africaine de Normalisation et du laboratoire géomatériaux-URA du CNRS n° 1652 de l'ENTPE (École Nationale des Travaux Publics de l'état de Lyon).

³¹ La Tierra ¿Material sismorresistente?. Aut. José Y. Alvarez Baleriola.Dr.Ing.Caminos IETcc-CSIC Monografía n°385/386 Madrid 1987.

- Reducir las masas reactivas, para reducir el momento. Reducción en altura, evitando depósitos o techumbres pesadas, para conseguir un centro de gravedad bajo
- Asegurar la transmisión de esfuerzos en el caso de más de una planta.
- Volúmenes cerrados, con arriostramientos. (según esbelteces laterales, cintados o zunchos en forjados, trabas en curvas y esquinas).Garantizar rigidez lateral. La planta circular sería ideal.
- Cubiertas y pisos ligeros. ¿Estructura rígida o flexible para no transmitir empujes?.
- Continuidad en las formas, y densidades, crear muros flexibles y homogéneos..
- Armados de caña americana

tapijal con cal: muy buen comportamiento :

refuerzo horizontal (5) → 1'' 1.5'' : hacen aumentar la resistencia al corte 13%, mejor comportamiento cada 15 cms.

refuerzo vertical (4) → 1'' 1.5'' hace disminuir el corte un 21%

tapijal con cal... muy buen comportamiento * Pag. 218 Navapalos 87

medida adobe preferible 38x38x8, relación ¼ en otras bibliografías o el de 30x15x7,5.

- Cintos de madera.³²

Creación de estructuras independientes en malla, consistentes en dos troncos paralelos conectados por pequeñas piezas cruzadas formando una celosía horizontal embebida en los muros de adobe perimetrales. Esto proporciona un mayor grado de flexibilidad a los muros para absorber la carga sísmica, reduciendo el riesgo de fracturación y de separación de los muros. El efecto queda reforzado por el peso de los adobes sobre el cinto.³³

- Es básica la amortiguación para disipar la energía de oscilación, proporcional al periodo de vibración que provoca una fuerza inercial relativa y la propiedad edificio. Esta se consigue a base de dar mayor resistencia a los costantes y a la flexión y dar mayor rigidez al desplazamiento

(cruces de St. Andres, nudos rígidos,...) y además dar ductibilidad (capacidad de absorber deformaciones sin llegar al colapso, caso de las pozas de piedra, de 3-4m de diámetro, de las cementaciones de las Iglesias coloniales en Lima.)

Las condiciones que deberá cumplir el muro seran:

espesor $d = 0,043 h$ (altura) ≥ 15 cms

$d = 0,12h$ (zonas muy sísmicas)

y su longitud $l \geq 12d$.

los machones de las ventanas a la esquina $l > 1,20m$ o $3d$.

- Cálculo de la estabilidad del muro^u

Distancias máximas a esquinas, cruces o contrafuertes en zonas de riesgo. En Cuba se aconseja una distancia máxima de 3/4 m de arriostramiento.

esbeltez l	18	14	12	10	8	6	4
σ admisible >	6P/5	3P/5	2,55P/5	2,1P/5	1,8P/5	1,5P/5	P/S
en muro ciego			5	6	7/6,3	7	8,4
con ventana en tercio central			4,2	5	6/5,2	6	7
ventana en tercio lateral			3,5	4,5	5,2/4,5	5,2	6,3
> 30% huecos			3,2	3,5	4,2/3,5	4,2	5,6

³² Aut. Lamar Sumanov. Adobe 90 Preprints. GCI Sta. Mónica 1990 pág.131-136

³³ Seismic Technologies in Non seismic zones. Aut. Ed Crocker. The New Mexico Community Foundation. Sta. Fe 1986

Cálculo de la esbeltez $L = h/a$. ev. se duplica en casos sin arriostramiento horizontal 3 plantas

plantas x 1,5 “ “ “ 2

x/y	0,5	1	1,5	2	f/e
4	1,1	1,24	1,51	1,85	
6	1,06	1,16	1,34	1,57	
8	1,03	1,1	1,24	1,43	
10	1	1,06	1,17	1,31	

cálculo de a

	h	2h	>2h	arriostramiento vertical
con	2	1,25	1	
sin	1	0,625	2	
arriostramiento horizontal		adobe	tapial	

Otra Norma de gran interés es la NTE.080 Adobe del ININVI Perú, ya que las prescripciones se basan en gran medida en la experiencia propia de una zona de gran sismicidad.

cuadernos de

Informes

Instituto Eduardo Torroja

ININVI

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y NORMALIZACION DE LA VIVIENDA
DE PERU

**CONSTRUCCIONES EN ADOBE
DISPOSICIONES ESPECIALES
PARA DISEÑO SISMORRESISTENTE**

NTE E.080 ADOBE

Norma 6 NTE E.080 ADOBE PERU

1. ALCANCE

La norma comprende lo referente al adobe como unidad para la construcción de albañilería con este material, así como las características, comportamiento y diseño de ésta.

El objetivo del diseño de construcciones de adobe es proyectar edificaciones que resistan las acciones sísmicas, evitando la posibilidad de colapso de las mismas.

No se contemplan las soluciones especiales que consisten en la combinación del adobe con otros materiales conformando estructuras aporticadas.

Los proyectos que se elaboren con bases y alcances distintas a las consideradas en estas normas, deberán estar respaldadas con un estudio técnico.

2. REQUISITOS GENERALES

- 2.1. El proyecto arquitectónico de edificaciones de adobe deberá adecuarse a los requisitos estructurales que se señalan en la presente norma.
- 2.2. Las construcciones de adobe simple y adobe estabilizado serán diseñadas por un método racional basado en los principios de la mecánica, con criterios de comportamiento elástico.
- 2.3. Las dimensiones y requisitos que se estipulan en los párrafos siguientes tienen únicamente el carácter de mínimos y no eximen de manera alguna del estudio y cálculo correspondientes que serán los que deben definir las dimensiones y requisitos a usarse en el diseño, de acuerdo con la función de los elementos y de la construcción.
- 2.4. Las construcciones de adobe se limitarán a un solo piso con una altura máxima de muros de 3,00 m entre piso y viga solera, pudiendo éstos llegar hasta 4,00 m en la parte más alta de los tímpanos, los que deberán ser adecuadamente arriostrados (Fig. 1).
- 2.5. No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos y en suelos cohesivos medianos o blandos (suelos III de las Normas Básicas de Diseño Sismorresistente), o cuando la capacidad portante del suelo sea menor de 1,5 kg/cm².
- 2.6. Independientemente de los criterios que se utilicen para dimensionar los elementos de una construcción, se deberá adicionalmente estudiar la colocación de refuerzos y/o arriostramientos que mejoren el comportamiento integral de la estructura.

Tímpano adecuadamente arriostrado

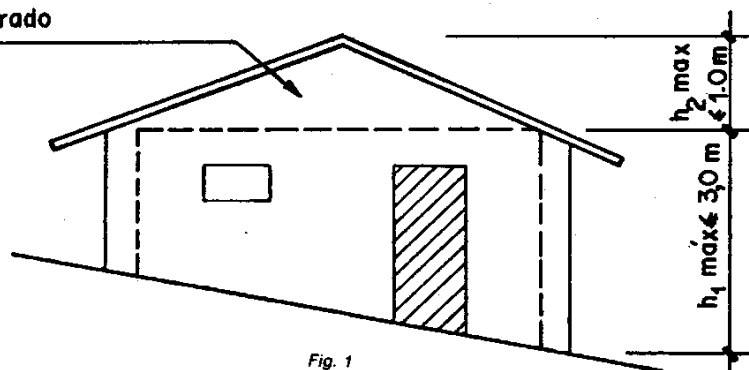


Fig. 1

3. DEFINICIONES

3.1. Adobe

Bloque macizo hecho con barro sin cocer y eventualmente un componente como paja, ichu, etc.

3.2. Adobe Estabilizado

Adobe en el que se han incorporado otros materiales (asfalto RC-250, goma de tuna, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de estabilidad ante la presencia de humedad.

3.3. Mortero

Material de unión de los adobes. Puede ser barro con paja o barro con paja y otros componentes, como asfalto, cemento, cal, arena gruesa, etc.

3.4. Altura Libre de Muro

Es la distancia vertical entre elementos de arriostre horizontales.

3.5. Muro Arriostrado

Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales.

3.6. Extremo Libre de Muro

Es el borde vertical u horizontal no arriostrado de un muro.

3.7. Vigas Soleras

Son elementos que conecta a los techos con los muros y, adecuadamente diseñados, actúan como elementos de arriostre horizontal (Sección 7.4). Su uso es obligatorio.

3.8. Arriostre

Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de un muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal.

3.9. Contrafuerte

Es un arriostre vertical construido con ese único fin.

4. ESTRUCTURAS

4.1. Principios Básicos de Estructuración

- 4.1.1. Usualmente la falla de estructuras de adobe debida a sismos es frágil. El mecanismo más común es el vaciamiento de los muros a causa de la pérdida de estabilidad lateral que ocurre cuando falla o se destruye el amarre de las esquinas y encuentros, lo que puede conducir a un colapso progresivo.
- 4.1.2. Las construcciones de adobe deben ser compactas, con suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos colaborantes (portando el peso del techo), cuya planta tienda a ser simétrica preferentemente cuadrada, con vanos pequeños y centrados al medio de las paredes. La distribución arquitectónica debe obedecer a este esquema.
- 4.1.3. Se definirá obligatoriamente un sistema que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.

4.2. El conjunto estructural de las construcciones de adobe estará compuesta de:

- a) Cimentación.
- b) Muros.
- c) Elementos de arriostre horizontal.
- d) Elementos de arriostre vertical.
- e) Techo.
- f) Refuerzos.

5. CIMENTACION

La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo a su esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 40 cm.

Los cimientos para los muros deberán ser de concreto ciclópeo o mampostería de piedra. En zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero Tipo II (Sección 10.3).

El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o mampostería de piedra asentada con mortero Tipo I (Sección 10.2), y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 20 cm sobre el nivel del suelo (Fig. 2).

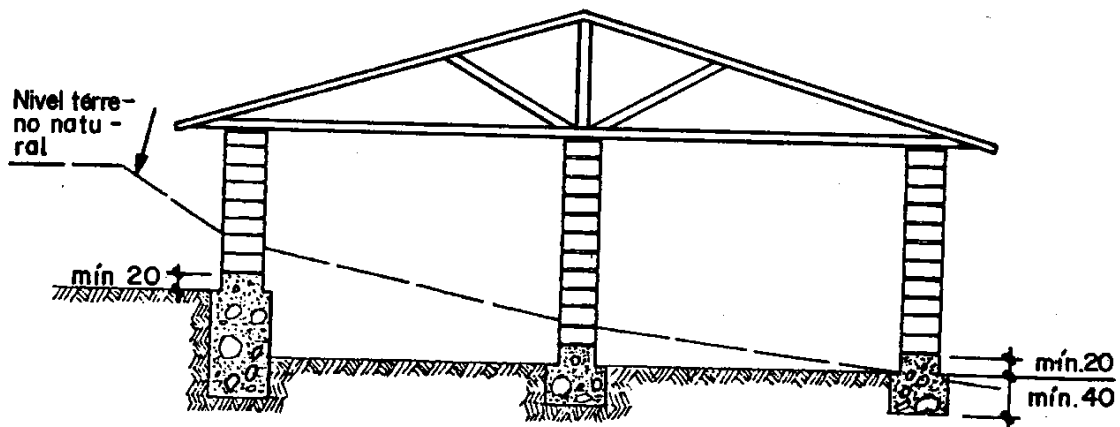


Fig. 2.--El Nivel del piso debe obtenerse realizando cortes en el terreno natural y no relleno.

6. MUROS

- 6.1. Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá definiendo sus dimensiones, utilizando arriostres o refuerzos. En el caso de usarse refuerzos de cualquier tipo para garantizar la estabilidad de un muro, se deberá demostrar técnicamente la factibilidad del sistema utilizado.
- 6.2. Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización. Deberá verificarse la calidad y la resistencia a la compresión del adobe, usando ensayos de campo y/o de gabinete.
- 6.3. El espesor de los muros será función de la altura libre de los mismos y de la distancia entre los elementos de arriostre vertical.

La distancia máxima entre los elementos de arriostre vertical será la menor de las siguientes expresiones:

$$l \text{ máx.} = \frac{64 e_m^2}{h_1} \text{ ó } 10 e_m$$

donde:

e_m = espesor del muro arriostrado (Fig. 3)

h_1 = altura libre del muro (Fig. 1).

Para facilitar este cálculo se presenta la Tabla 1.

Tabla 1
Valores de l máx.

$e_m \backslash h_1$	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
0,30	2,50	2,40	2,30	2,20	2,10	2,00	2,00	1,90
0,35	3,40	3,20	3,10	3,00	2,90	2,80	2,70	2,60
0,40	4,00	4,00	4,00	3,90	3,80	3,60	3,50	3,40
0,45	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,40	4,30
0,50	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

6.4. En general los vanos deberán estar centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado como borde libre.

La longitud entre el borde libre de un muro y el elemento vertical de arrioste más próximo no excederá de cuatro (4) veces el espesor del muro.

La distancia mínima entre bordes libres o entre borde libre y el elemento de arrioste vertical más próximo será de 0,80 m.

6.5. Como refuerzo se podrá utilizar cualquier material estable y que sea compatible con el material del muro, según lo especificado en la Sección 9.

6.6. Los muros deberán ser diseñados para garantizar su resistencia, según lo especificado en la Sección 11.

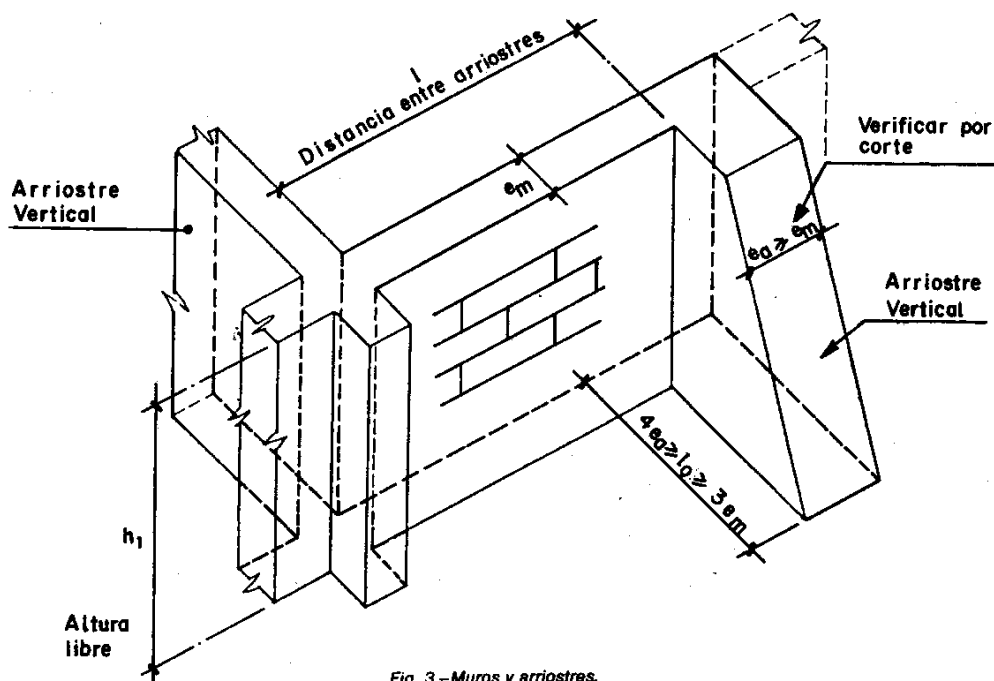


Fig. 3.- Muros y arriostres.

7. ELEMENTOS DE ARRIOSTRE

- 7.1. Para que un muro se considere arriostrado deberá existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre, para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos.
- 7.2. Los elementos verticales de arriostre tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir las fuerzas cortantes a la cimentación.
Cuando el arriostre vertical está constituido por un muro o contrafuerte, su longitud en la base no será menor que tres (3) veces el espesor del muro (Fig. 3).
- 7.3. Se considera arriostre horizontal al elemento o conjunto de elementos que posean una rigidez suficiente en el plano horizontal como para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros. Estos elementos se diseñarán como apoyos del muro arriostrado, considerándose a éste como losa, sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a él.
- 7.4. Se deberá garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deberán conformar un sistema continuo e integrado.

8. TECHOS

- 8.1. Los techos deberán en lo posible ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros y fijados adecuadamente a éstos a través de la viga solera.
- 8.2. Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.
- 8.3. En general, los techos livianos no pueden considerarse como diafragmas rígidos y por tanto no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros.
La distribución de las fuerzas de sismo se hará por zonas de influencia sobre cada muro longitudinal, considerando la propia masa y las fracciones pertinentes de la masa de muros transversales y la del techo.
- 8.4. En el caso de utilizar tijerales, el sistema estructural del techado deberá garantizar la estabilidad lateral del mismo.
- 8.5. En las construcciones de adobe es especialmente importante estudiar las pendientes de los techos y la longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar.

9. REFUERZOS

- 9.1. Para todo tipo de edificaciones de adobe, es obligatorio:
 - a) El uso de vigas soleras.
 - b) La colocación de refuerzos interiores en los muros.
 - c) Que los refuerzos garanticen la conexión de los muros en encuentros y esquinas (para evitar la separación y desplome de los mismos).
- 9.2. Se cuidarán especialmente los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar su comportamiento eficaz.
- 9.3. Los materiales utilizados como refuerzo serán:
 - 9.3.1. Caña o similares, en tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de juntas (máximo cada 4 hiladas) en todos los muros unidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas.
Se reforzará la junta que coincide con el nivel superior e inferior de todos los vanos. Deberán coincidir los niveles superiores de los vanos (puertas y ventanas).

Adicionalmente se colocarán cañas o elementos de características similares como refuerzos verticales, ya sea en un plano central entre unidades de adobe (Fig. 4), o en alveolos de mínimo de 5 cm de diámetro dejados en los adobes (Fig. 5). La distancia máxima entre refuerzos verticales será de 60 cm.

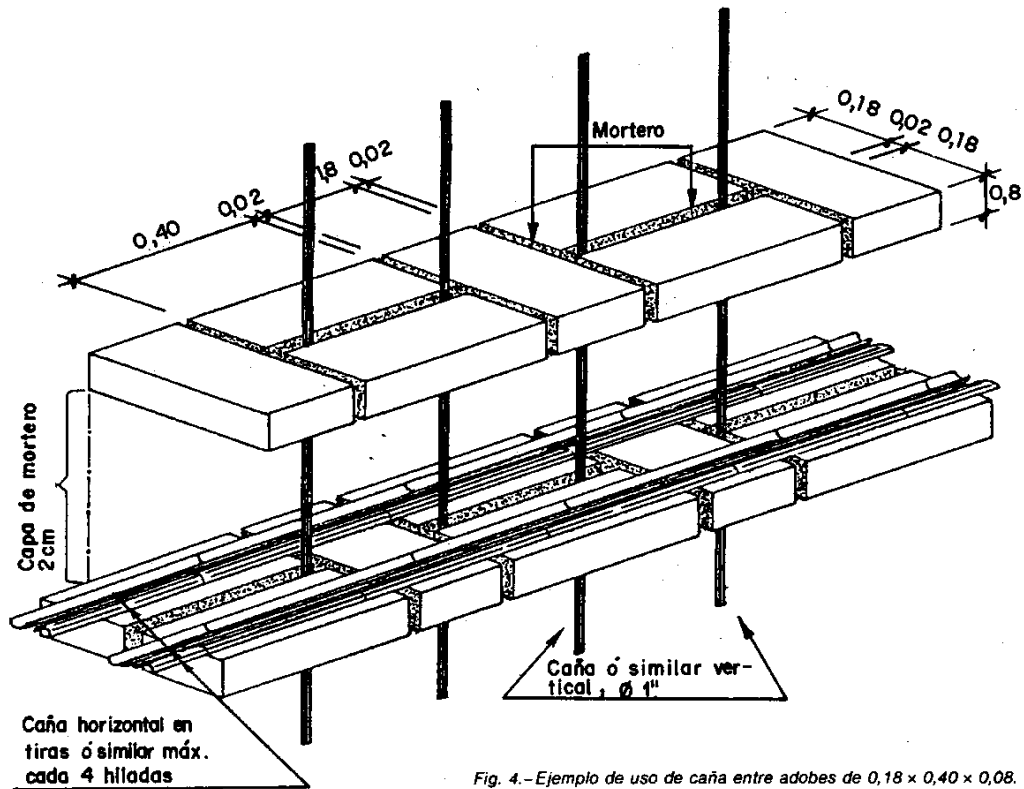


Fig. 4.-Ejemplo de uso de caña entre adobes de $0,18 \times 0,40 \times 0,08$.

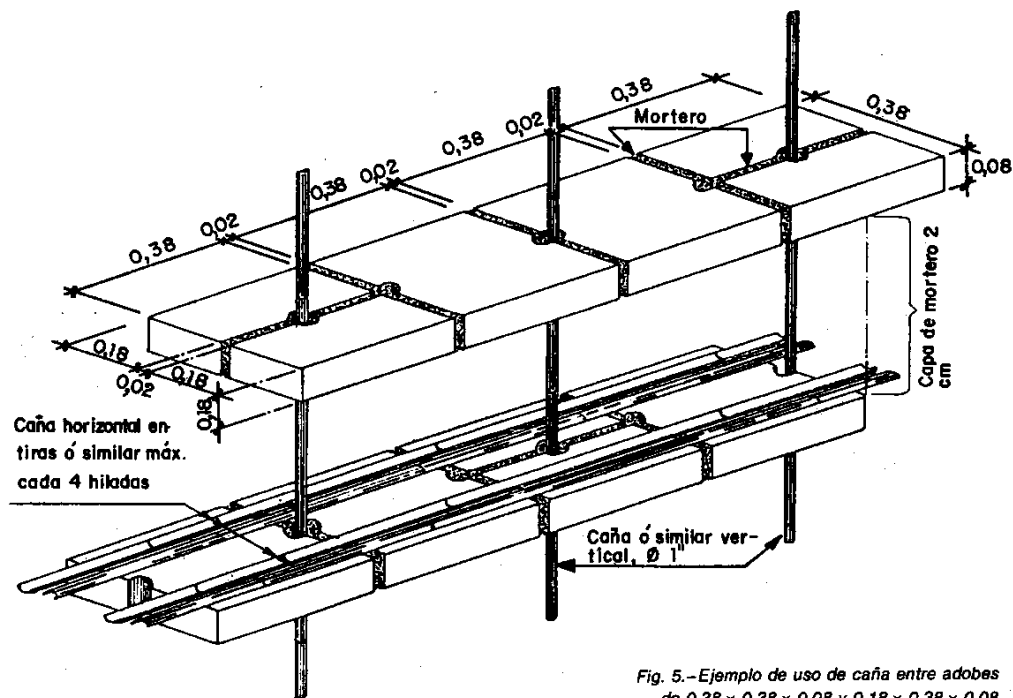


Fig. 5.-Ejemplo de uso de caña entre adobes de $0,38 \times 0,38 \times 0,08$ y $0,18 \times 0,38 \times 0,08$.

En ambos casos se asegurará la adherencia, rellenando los vacíos con mortero. Estas configuraciones serán obligatorias.

El refuerzo vertical deberá estar anclado a la cimentación y fijado a la solera superior. Se usará caña madura y seca o elementos rectos y secos de eucalipto u otros similares.

- 9.3.2. Madera. Se usará en dinteles de vanos y vigas soleras sobre los muros.

La viga solera se anclará adecuadamente al muro y al dintel si lo hubiese.

10. MORTEROS

Se considera que las juntas de la albañilería constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán recibir el mayor cuidado.

- 10.1. Los morteros se clasificarán en 2 grupos:

- a) Tipo I (en base a cemento y arena).
- b) Tipo II (en base a tierra con o sin aglomerantes).

10.2. **Mortero Tipo I:**

Mortero de cemento-arena cuya relación volumétrica deberá estar comprendida entre 1:5 a 1:10.

Debe utilizarse arena gruesa (entre las mallas n.º 4 y n.º 30 ASTM).

Deberá utilizarse la cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad.

10.3. **Mortero Tipo II:**

La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades de adobe y de ninguna manera tendrá una calidad menor que las mismas.

Deberá utilizarse paja seca en una proporción no menor de una parte de paja por dos partes de tierra, en volumen (1% en peso).

Deberá emplearse la cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable.

Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2 cm y deberán ser llenadas completamente.

11. RECUBRIMIENTOS

Los muros de adobe simple deberán protegerse mediante enlucidos resistentes a la acción de la erosión y el intemperismo.

12. ESFUERZOS ADMISIBLES

- 12.1. Para todo tipo de edificaciones de categoría B (Normas Básicas de Diseño Sismorresistente), y las pertenecientes a conjuntos habitacionales (mayores de 20 viviendas), se realizarán ensayos para la obtención de los esfuerzos admisibles de diseño. Estos ensayos considerarán la variabilidad de los materiales a usarse.

12.2. **Resistencia a Compresión de la Unidad**

La resistencia a compresión de la unidad es un índice de la calidad de la misma y no de la mampostería.

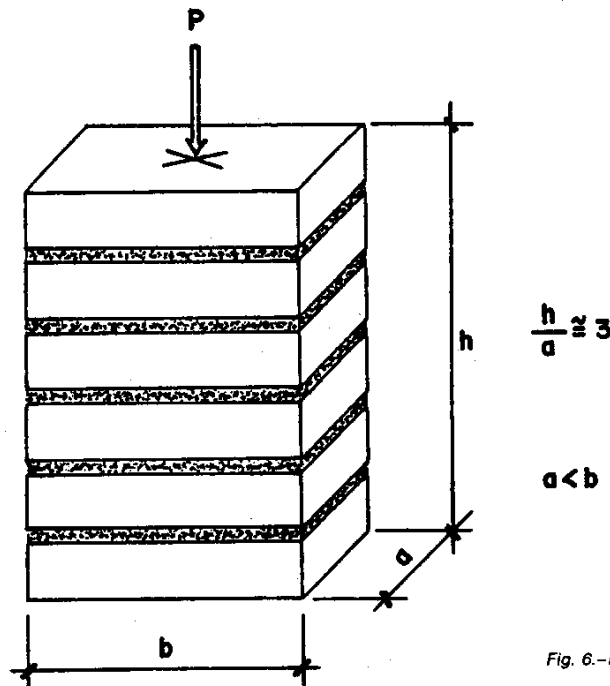


Fig. 6.-Ensayo de compresión axial.

La resistencia a la compresión se determinará ensayando cubos labrados cuya arista tendrá como dimensión la menor de la unidad de adobe. Se empleará un valor de la resistencia (f_0), calculado en base al área de la sección transversal. Este valor será el sobrepasado por el 80% de las piezas ensayadas.

El número mínimo de piezas a ensayar será de seis (6) y deberán estar completamente secas.

El valor de f_0 no será menor de 12 kg/cm^2 .

12.3. Resistencia a Compresión de la Mampostería

La resistencia a compresión de la mampostería podrá determinarse por:

- a) Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usar en obra.

Las pilas estarán compuestas por el número de adobes enteros necesario para obtener un coeficiente de esbeltez (altura/espesor) de tres (3).

El número mínimo de adobes será de cuatro (4) y el espesor de las juntas será de 2 cm.

La disposición del ensayo será la mostrada en la Fig. 6.

Se tendrá especial cuidado de mantener la verticalidad de los especímenes. El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días. El número mínimo de pilas a ensayar será de tres (3).

El esfuerzo admisible a compresión del muro (f_m) se obtendrá con la expresión:

$$f_m = 0,4 \varnothing_e f'_m$$

donde: \varnothing_e = factor de reducción por esbeltez del muro.

El factor \varnothing_e puede ser obtenido en forma análoga a una columna elástica, pero no será mayor de 0,75.

f'_m = esfuerzo de compresión último de la pila. Este valor será el sobrepasado por 2 de cada 4 de las pilas ensayadas.

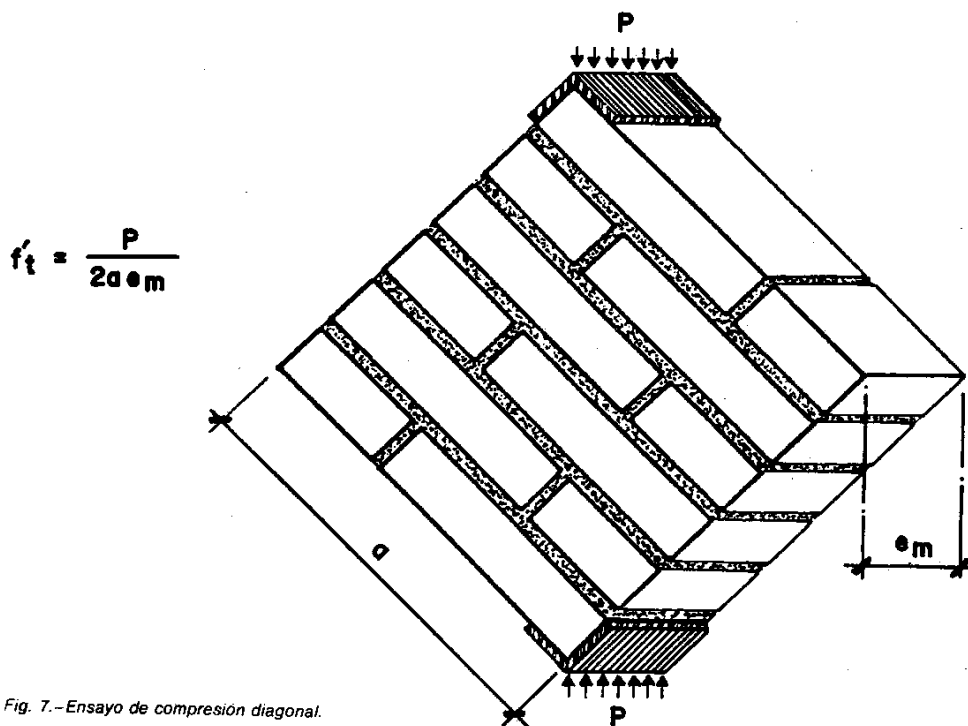


Fig. 7.-Ensayo de compresión diagonal.

En caso de no calcularse el factor de reducción por esbeltez del muro, se tomará la expresión:

$$f_m = 0,2 f'_m$$

- b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible:

$$f_m = 2,0 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento será:

$$1,25 f_m$$

12.4. Resistencia al Corte de la Mampostería

La resistencia al corte de la mampostería se podrá determinar por:

- a) Ensayos de compresión diagonal con materiales y tecnología a usarse en obra.

La disposición del ensayo será la mostrada en la Fig. 7.

Se ensayarán un mínimo de tres (3) especímenes.

El esfuerzo admisible al cortel del muro (v_m) se obtendrá con la expresión:

$$v_m = 0,4 f'_t$$

donde: f'_t = esfuerzo último del murete de ensayo. Este valor será el sobrepasado por 2 de cada 3 de los muretes ensayados.

- b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de muretes, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible al corte:

$$v_m = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

12.5. Resistencia a la Tracción por Flexión de la Mampostería para Cargas Perpendiculares a su Plano

La resistencia a la tracción por flexión de la mampostería se considerará como máximo:

$$f_a = 0,4 \text{ kg/cm}^2$$

No se considerará resistencia a tracción del mortero para cargas contenidas en el plano del muro.

13. DISEÑO DE MUROS

13.1. Diseño de Muros Longitudinales

La aplicación de la resistencia v_m se efectuará sobre el área transversal crítica de cada muro (descontando vanos si fuera el caso).

13.2. Diseño de Muros Transversales

Se recomienda utilizar métodos elásticos para el diseño de muros transversales para cargas perpendiculares a su plano.

Ensayos de utilización actual

Es a partir de los años sesenta que se concretan el conjunto de criterios para las diferentes propiedades que inciden en la calidad de la Construcción con Tierra.

A continuación se exponen los principales ensayos estandarizados por las Normas españolas UNE y las normas, internacionalmente adoptadas, ASTM americanas, que inciden directamente en la obtención de una calidad normalizada del material.

Para mayor claridad de exposición, presentamos la evolución técnica de los diferentes estándares cronológicamente, dentro de cada parámetro normalizado

Procedimientos preceptivos para la evaluación de las aguas de amasado.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ASTM D516-49. (pág. **¡Error! Marcador no definido.**) Determinación del contenido total de sulfatos en aguas de amasado para morteros y hormigones. El procedimiento se basa en la precipitación del ión sulfato con cloruro bórico.
UNE 7130 / 7131/ 7132/ 7178/ 7234/7235/7236 (decreto 20/IX/1968)

Clasificación del tipo de suelo:

UNE 24013 / ASTM D 2487-69 “ Standard Test for Classification of soils for engineering purposes “ (ver. Norma 2 ASTM-D2487 pág22).

ASTM D 3282-73 “Standard Recommended Practice for classification of soils and soil-aggregate Mixtures for Highway construction purposes”

ASTM D2419-74 (79) “ Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate” “ UNE 7324-76 Determinación del equivalente de arena, este sirve de referencia para tener clara la proporción de finos. el método de basa en agitación, sedimentación y decantado, evaluando la precipitación inicial y el nivel que da de arenas.

Hinchamiento libre. Ensayos cuantitativos (realizados en edómetros): Ensayo cuantitativo que determina el aumento de volumen que sufre una probeta de muestra inalterada inundada en el edómetro y sometida a una pequeña tensión nominal, permite observar, mediante un micrómetro, el incremento de volumen a lo largo del tiempo hasta su estabilización.
Presión de hinchamiento. Determina la presión que hay que aplicar a una probeta de muestra inalterada para evitar que incremente su volumen. Se entiende por presión de hinchamiento aquella bajo la cual un suelo expansivo ni hincha ni colapsa. Se coloca una probeta de muestra inalterada en el edómetro, se inunda, se somete a una tensión normal inicial pequeña y se toma la lectura de micrómetro. Se incrementa la carga evitando el hinchamiento de la probeta, así se determina la presión necesaria para evitar que el volumen del suelo varíe.

Ensayo de inundación bajo carga. Se toman dos muestras de terreno inalterado. Una de ellas se somete a una pequeña presión normal, se mide su deformación y se inunda. Se mide la deformación una vez estabilizada. La otra muestra se somete mediante escalones de carga a una presión elevada (proceso similar al del ensayo edométrico) una vez estabilizada la deformación se mide, y posteriormente se inunda volviéndola a medir cuando esté estabilizada. De contrarse de ambos valores se obtiene la presión de hinchamiento del ensayo.

Parámetro	bajo	medio	alto	muy alto
WL (Límite líquido)	< 30	30-40	40-60	>60
IP (Índice de plasticidad)	0-15	10-35	20-55	>45
WS (Índice de retracción)	>15	16-10	12-7	<11
% < 0.074 mm. T200	<30	30-60	60-90	>90
% < 1mmómetro	<15	13-23	23-30	>30
Índice PVC. Ensayo Lambe	<2	2-4	4-6	>6
Índice de desecación	>1	0.8-1	0.6-0.8	<0.6
Presión de hinchamiento Kpa	<30	30-120	120-250	>250
% Hinchamiento libre	<1	1-5	3-10	>10
Nº de golpes S.PT	<10	10-20	20-30	>30

Fabricación de Probetas y consistencia de la mezcla:

◆ **Preparación de muestra** para los ensayos de suelos UNE 7.377.75 pág. **¡Error! Marcador no definido.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pág. **¡Error! Marcador no definido.**

◆ **Toma de muestras superficiales** de suelo de tipo inalterado MNE 7.371.75. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pág. **¡Error! Marcador no definido.**

◆ **Instrucción para la recepción de cales en obras de estabilización de suelos RCA-92.**
El método de toma de muestras representativas, para verificar las características de las cales (UNE 80-502-91), establece una por cada tercio de la partida, evitando que sea de la parte alta del saco o del contenedor, hasta llegar a los 50Kgr. También establece como criterio de selección dos tipologías de cales :

- Cal tipo I, para usar preferentemente en premezclas en planta. (cal viva micronizada y cal apagada).
- Cal tipo II, para usar preferentemente en mezclas in situ (Cal viva granular <6.3mm).

◆ **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”.

- 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.
- Plasticidad normalizada.
- 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 m. 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.

-Ensayo de retracción.

-Con una muestra de barro de plasticidad normalizada, se rellena el molde de la probetas cúbicas de 70 mm con barro de plasticidad normalizada.

-En el plano superior de la probeta se marca, mediante un cuchillo y un patrón, la distancia de 20cm. y la línea que define la distancia.

-La probeta deberá reposar sobre una superficie de cristal engrasada con aceite, durante tres días, a una temperatura no superior a 20° C.

- Transcurrido este tiempo puede complementarse el secado, mediante horno a 60°C, hasta que se aprecie cambio en la longitud.
- El valor de la retracción seca, se determina por la media de los dos ensayos, que no deberán diferenciarse en más de 2mm.

-Resistencia a la compresión

- Para la comprobación de la resistencia a compresión, se fabrican por lo menos 4 probetas cúbicas de 70 mm. con barro de plasticidad normalizada.
- Se retira inmediatamente el encofrado y la muestra se seca a 20°C en un lugar sin aire corriente y con sombra, sobre una parrilla.
- Después del 5º día puede acelerarse el proceso de secado, hasta una temperatura máxima de 80°C.
- En cuanto se compruebe en cubos fabricados complementariamente, que el núcleo está seco, se alisan las superficies paralelas expuestas a la compresión.
- La compresión se realiza en la dirección de llenado y el valor de la resistencia a compresión será el valor medio de tres ensayos en el valor de la sección calculable de 30 cm³.

Determinación de las propiedades físicas

Ensayo de **límite de Atterberg**. 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.

Determinación del límite de retracción de un terreno UNE 7016. ASTM 427-93 pág. **¡Error! Marcador no definido.**

ASTM E 11-70. UNE 83-100-84. NLT-109/72 **Análisis granulométrico**. Se toman 1000 gr. secados a una temperatura de 105°C. se tamiza 10min., y se pesan las muestras del material retenido en cada tamiz normalizado. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pág. **¡Error! Marcador no definido.**

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.

NP-1379 y la JAE P 5-53. Norma portuguesa. Inertes para Argamassas e Betões. análise granulométrica. Considera un cribado de 10m, y temperaturas de secado de 105°C y 110°C. Los pesos mínimos de muestra que considera en función del tamaño del árido son:

Tamaño máximo.	grs de muestra
0.34	100
2.00	200
4.76	500
9.52	1000
12.70	2500
19.10	5000

Tamices normalizados. ASTM E 11-70. UNE 7050. MNE 7177.” Relación entre los tamices de la serie 7050 y los de varias series extranjeras”

Para la medida de la densidad la Norma Portuguesa NP-955 / Inertes para Argamassas e Betões, también utiliza temperaturas superiores a los 100°C para el secado de la muestra. Para áridos se procede a una compactación con 25 golpes en tres tongadas. Se referencia a las ASTM C-29-69 “ Standard method of Test for Unit Weight of Aggregate” y la ASTM E-11-70 “ Standard Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes”.

Ensayos para cálculo de la absorción de agua y densidades:

UNE 7083

NP-581. NP-954. Normativa Portuguesa Determinação das massas volúmicas e da absorção de água.

UNE 7045. Determinación de la porosidad del terreno. Se determinará el volumen aparente del terreno, y a continuación los pesos secos y húmedos de la muestra.

Determinación de la humedad mediante secado en estufa MNE 7.328.75. Determinación del peso específico de un terreno UNE 7001 Densidad in situ por el método de la arena. NLT – 109/72.

Densidad relativa y absorción de áridos finos NLT-154/76.

Densidad mínima de una arena NLT-204/72.

Ensayo de apisonado de suelos por el método Proctor modificado

Determinación del índice volumétrico:

LNE E223 1968. N. Portuguesa.

-Ensayos para cálculo del coeficiente de forma:

UNE 7238. Determinación del coeficiente de forma.

Estratos DA B.S 812. Norma portuguesa. La medición se efectúa con una galga y un medidor de espesuras, sobre 50 partículas.

ASTM ???Sedimentometría. (puede hacerse en una botella). Se mezcla la tierra con sal común (una cucharada para 500 cl) y agua destilada en una probeta graduada durante 1 minuto, batiéndolo a 3 ciclos por segundo. La lectura a los 30" es el nivel de arena. A partir de ese momento se depositarán limos y arcillas. Es ideal tanto para arena como para limo y arcilla.

-Ensayos para determinación de resistencias:

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%.

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%.

Otras normas de interés, referentes al hormigón armado, son:

-Norma seguida para el ensayo de consistencia –Slump-cono de Abrams NP-87 1956

-Norma española UNE 83-313-90 Medida de la Consistencia del hormigón fresco.

-Norma seguida para la fabricación y conservación de probetas NP-1383 1976

-Norma española UNE 83-301-91 Fabricación y conservación de probetas.

Previamente al amasado es secado a la estufa el árido. También se mide la consistencia en el cono de Abrams y se sigue con un vibrado de la probeta. Se tapa con un plástico durante 24h. para luego ser desencofrado e introducido en la cámara húmeda para después efectuar el ensayo.

- Norma española UNE 83-821-92 Morteros endurecidos. determinación de las resistencias a flexión y a compresión. Se utilizan dos series de probetas de 160x40x40, ejecutada mediante dos capas, comprimiéndolas con 25 golpes de pisón estandar (proctor). No se hace refrentado.

- Norma española UNE 83-303-84 Ensayos de hormigón. Refrentado de probetas con mortero de azufre.

- Norma española UNE 83-304-84. Ensayos de hormigón. Rotura por compresión. Se destaca la velocidad utilizada de 5Kp/cm².s

- Determinación de las propiedades térmicas.

El uso de ensayos térmicos dinámicos, [CEN TC89/WG8](#) y [ISO 9869](#),³⁴ mediante diversas series, pueden ayudar a simular mejor la transferencia de temperatura en la masa, como ayuda a diferenciar los datos no revelantes o ruido de fondo. El método es aplicable desde probetas en laboratorio a edificios a escala real.

Como medios actuales de control bioclimático que podemos utilizar destacamos la termografía, la fotografía con ojo de pez y el sistema MRT de control de insolación e irradiación³⁵.

Ensayos de análisis químico

-Reconocimiento de **Sulfatos** solubles en los suelos. [UNE.7.369.75.](#) y [MNE 7.370.75.](#)

-**Carbonatos** en los suelos por el método del calcímetro de Bernard [NLT – 116/72](#) [pág](#)

³⁴ " Dynamic Analysis Techniques for the Thermal Characterisation" Aut. JJ.Bloem Ispra. Italy.Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea'98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 579-582- Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

³⁵ "Analysis tools of urban environment thermography and angular studies" aut. G. Destobbeleire, JL. Izard y J.P Medy. Mediterranean. Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea'98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 221- Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

-Método de evaluación de la pérdida de resistencia por efecto de la **Materia orgánica**³⁶. El método se basa en la medida de la cantidad de iones de calcio libres y del Ph obtenido. Se toman 100gr. de muestra en 250ml de disolución saturada de cal durante 20'. Se filtra por tritación y se estima la cantidad de calcio por ataque con ácido oxálico y se colorea con fenoftaleína como indicador. Los suelos con Ph>7 se consideran adecuados para ser estabilizados con cemento portland.

Clark y Sherwood ³⁶ revelan los efectos del pH sobre los complejos organo-ferrosos estables que son absorbidos por las superficies de los silicatos. El contenido de óxido férrico libre es capaz de combinarse con la materia orgánica, lo cual es susceptible de romperse al elevarse el pH de la mezcla. Esto puede darse con la adición del cemento u otro estabilizante, al provocarse la inhibición de la acción aglomerante al quedar absorbidos todos los iones de cal por la materia orgánica libre

-Determinación del contenido de **Materia orgánica** MNE. 7368-77. LNEC E201 1967- y la NP-85 1956

Sherwood utiliza el siguiente método, que integra :

- Se toman 100grs de muestra tratada con peróxido de hidrógeno líquido para deshacer la materia orgánica, y entonces se mezcla repetidamente hasta conseguir una dilución de 0.2N de ácido hidroclicórico, que tras filtración, los lavados se encuentran libres de trazos de iones de calcio y sulfato.

- Límite plástico y líquido acuerdo con la British Standard 1377.

- Contenido de materia orgánica por el método de Walkley and Black (1934).

- Contenido de sulfatos solubles por el método del sulfato de Bario (Road Research Laboratory, 1952).

-Contenido de carbonatos por el método de S.H. Collins 1906.

-Contenido de Calcio y Hierro, por el E.D.T.A. Método de Cheng (Cheng, Kurtz, and Bray, 1952).

-Calcio y Magnesio soluble en agua,, por el E.D.T.A. Método de Cheng (Cheng, Kurtz, and Bray, 1952).

-Valor del pH electrométicamente, con radio suelo agua 1/3.

-Evaluación de la estabilización.

La **ASTM de 4609-94 "guia estándar para evaluar la efectividad de los compuestos químicos para la estabilización de suelos"**, evalúa la efectividad de un estabilizante químico para la consecución de una durabilidad y radio de aplicación óptimos para una tierra estabilizada.

El procedimiento utilizado se basa, en efectuar probetas de laboratorio, partiendo de unos 20 kgrs del suelo, a los que se aplica 3 grados de estabilización: presumiblemente el óptimo uno menor y otro mayor. Por cada uno de ellos se ejecutan cinco tongadas, y se efectúa en cada uno de ellos los siguientes tests:

1-Contenido de humedad 2-Granulometría ASTM D422

3-Límites de Atterberg ASTM D 4318(medir 500 gr. en 3 partes, secar una parte al aire durante una noche, otra parte secarla al mismo tiempo con alto grado de humedad, y otra del mismo modo pero durante siete días)

³⁶ *Effecte of Organic Matter on the setting of soil-cement mixtures. Aut. K.E Clare y P.T.Sherwood. J.Appl.Chem.4. November 1954*

4-Relación humedad densidad ASTM D 698 Met.A Obtención de humedad óptima para densidad máxima con tres kilos de muestra. Se considera la reutilización de suelos ya estabilizados siempre que el suelo no sea frágil, o se reduzca el tamaño de las partículas originales al repetir sucesivamente varias compactaciones, o bien no se trate de una arcilla de estructura densa que dificulte la incorporación de agua en la mezcla.

5- Cambios volumétricos ASTM D 3877 (3.6Kgrs)

6- Resistencia a la compresión [ASTM D 2166](#)

7-Determinación en el aparato de Harvard, con 1 kgr de muestra, del número de apisonados y presión de muelle requerida para obtener densidad doble que con la aplicación del ensayo anterior.

También basados en ésta la Associação Brasileira de Cemento portland y la British Standards dan un método de dosificación para suelo-cemento³⁷.

Ensayos referentes al suelo-cemento

-Congelación- deshielo de probetas de suelo-cemento [NLT -303/72](#).pág de **Gelifracción**, "Freezing and Thawing Test of Compacted Soil-Cement"

Se inicia el ensayo con dos probetas fabricas manualmente con un molde tipo Proctor. La muestra, después del curado de fabricación, se deja 24 horas en un congelador a -23°C. Posteriormente se mide y pesa, y se vuelve a colocar en cámara de curado durante 23horas a 21°C y 100%Hr, con la base suficientemente llena de agua para ir absorbiendo agua por capilaridad. Se mide y pesa. Se aplica sobre una de las probetas, un cepillado estándar a una presión de 13N (equivalente a la presión ejercida por un peso de 1.3Kgr), unas veinte pasadas por cara, y entonces repetir la pesada. El secado final lo efectua a 110°C. El proceso se efectua en doce ciclos, el cual da la perdida total de masa por la gelifracción,y la probeta no cepillada nos indica el cambio final de volumen y humedad.

[ASTM D559-82](#) pág. Ensayo **Humectación-Secado** "Wetting and Drying Tests of Compacted Soil -Cement"

Se inicia el ensayo con probetas fabricas manualmente con un molde tipo Proctor. La muestra se deja 5 horas en inmersión en agua potable. Posteriormente se desaca a 72°C durante 42h, para ser medido y pesado. Aplicar sobre éste, un cepillado estándar longitudinal a una presión de 13N (equivalente a la presión ejercida por un peso de 1.3Kgr), unas veinte pasadas por cara, y entonces repetir la pesada. el proceso se efectua en doce ciclos, y aconseja la obtención en dos muestras a la vez, el secado final lo efectua a 110°C.

Según Carlos de Souza³ en estos dos ensayos el cambio volumétrico tiene que ser inferior al 2% y la perdida de peso no puede exceder:

-para suelos tipo perdida de peso A-1 A-2-4 A2-5 A-6 <14%

-para suelos tipo perdida de peso A-2-7 A-2-6 A-5 A-4 <10%

-para suelos tipo perdida de peso A-7 A-6 <7%

³⁷ Método de dosagem de solo-cemento. Associação Brasileira de Cemento portland. S@o Paulo. 1941. (Bol. SC-2) y " British Standard method of test for stabilized soils. Edit.British Standards Institution. London 1957. (B.S 1924)

-**Densidad máxima y humedad óptima** de las mezclas de suelo-cemento, mediante apisonado con masa “Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures”.

Se determina la relación agua-densidad a partir de una muestra representativa de 2.7Kgrs de suelo, mezclada con cemento en seco. Para el secado del suelo excesivamente húmedo se empleará una temperatura de 60°C. A éste se va añadiendo agua hasta obtener una consistencia seca, un 5 o 6% por debajo del óptimo. Después de dejar reposar la mezcla entre 5 y 10 minutos, se procede a una compactación con molde y pisón estándares. Se toman 100grs de la muestra y se recoge su peso seco y húmedo. Para continuar con otras dosificaciones de agua, hace falta deshacer la tierra del molde, y pasarla por un tamiz N°4 (4.75mm).

Ensayos de durabilidad

ASTM C 307-83. Ensayo de **Adherencia**. se determina a una humedad relativa del 40%.

ASTM -E96-80. Ensayo de transmisibilidad del vapor de agua. **Transpiración**.

RILEM N°II-a. Ensayo de **Capilaridad**.

Evaluación de los efectos de degradación debido al **Sulfato Magnésico** ³⁸.

La hidratación del Sulfato Magnésico $Mg SO_4$ no es expansiva en comparación al Na_2CO_3 Carbonato y al sulfato sódico Na_2SO_4 .

El Sulfato magnésico no altera el Índice de Plasticidad del suelo cemento, sólo ligeramente en contenidos superiores al 2%, produciéndose un descenso entre un 12-15%.

Los ensayos revelan una ligera disminución de las resistencias y de la densidad aparente a partir de contenidos superiores al 1%, siendo del orden del 30% para contenidos del 5% de $Mg SO_4$. Para medir la **durabilidad** de los bloques se someten a 12 ciclos alternados de secado-humectación durante 42 horas a 60°-70°C, midiendo las pérdidas de peso. Los suelos arenosos estabilizados al 5% de c.p y con un 3% de sales presentan los mejores resultados, pero deteriorándose rápidamente al llegar a proporciones del 5% de $Mg SO_4$. En el caso de los limosos margosos y arcillosos la cantidad admisible está alrededor del 1%, en estabilizaciones de un 5% de c.p, y de un 0.25% en el caso de un 2.5% de c.p Para dosificaciones hasta un 10% de c.p los efectos de deterioro son bajos.

Sherwood explica la acción patológica del sulfato magnésico en la disminución de resistencias a partir del siguiente ataque sobre los silicatos cálcicos del cemento, que provoca cierta expansión y sulfato cálcico libre de continuar un nuevo ataque:



También Sherwood establece dos series de tests, para ver el efecto del **sulfato cálcico** en el endurecimiento del suelo-cemento:

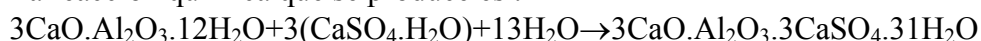
1- La presencia de sulfato cálcico contenido en la arcilla, tanto para resistencias secas o en inmersión de las arcillas estabilizadas con cemento, y examinar la influencia del contenido de humedad de la arcilla sobre este efecto.

2- Diferentes proporciones de sulfato cálcico tanto para resistencias secas o en inmersión de las arcillas estabilizadas con cemento.

El Sulfato cálcico se combina con el aluminato tricálcico en el cemento hidratado, formando **sulfo aluminatos cálcicos** expansivos o sales de Candlot, que destruyen la matriz endurecida del cemento.

³⁸ Role of Detrimental Salts in Soil Stabilization with and without cement. Effect of Magnesium Sulphate. Aut. Dr. Y.S. Uppal and B.P. Kapur. Edit. Indian Concrete Journal July 15th 1957

La reacción química que se produce es :



Método de **carbonatación acelerada**. LNEC C 391-1993-RILEM CPC18 Measurement of hardened concrete carbonation depth. Se mantiene la probeta en condiciones del $60\% \pm 5$ Hr, $5\% \pm 0.1$ CO₂, y $20^\circ\text{C} \pm 3$, con renovación cada 8 horas, en cámara estanca de metacrilato con dos compartimentos 30x30x30, con entrada y salida de gases. Se disponen de dos bombonas, una de aire y otra de CO₂. La concentración se regula por dos fluxómetros. La mezcla se produce en un matraz, con acetato de magnesio, con una única salida bifurcada a las cámaras. Tras dos semanas separan las probetas y se pintan las superficies de fractura con solución alcohólica de fenolftaleína al 0.1%, la cual teñida la zona no carbonatada.

Determinación de la profundidad de **penetración de cloruros** por sistema acelerado LNEC-E-399-1993.

A los 28 días de la fabricación de la probeta se pone en inmersión en solución concentrada de hidróxido de cal CaOH₂, durante 24 horas, y a condiciones de 20-25°C, hasta obtener un incremento de peso del 0.1%. Posteriormente se somete a una serie de tres baños de cloruros (solución saturada de Ca OH² con un 15% de cloruro sódico ClNa) de 4 días, para un posterior secado a 40°C durante tres días. La norma establece tres meses de ensayo completo.

Se evalúa finalmente la penetración por potenciometría, concentración según profundidad.

La **retracción** producida se mide por la diferencia del volumen seco (secado a 60°C hasta peso constante) con el peso húmedo, medida por el método del mercurio. Ésta disminuye ligeramente con el aumento de sales, asimismo con el Na₂CO₃ y el Na₂SO₄.

Referente a este parámetro es utilizable el Test de Alcock, que Hugo Houben utiliza para definir estabilizaciones con cemento según la retracción obtenida, para tierras comprimidas a 4Mpa, reduciéndose el cemento un 30% para tierras comprimidas a 10Mpa.

retracciones mm.	dosificaciones volum.
<15	1/18
15-30	1/16
30-45	1/14
15-60	1/12

El ensayo de **capilaridad** de los bloques se efectúa sobre un lecho de arena húmedo durante 24 horas, confinándolos en un molde metálico. Posteriormente son secados a 60°-70°C, y tras un cepillado, se pesan las pérdidas de material. Los resultados obtenidos son parecidos al ensayo de durabilidad anterior.

Otro ensayo de la serie es el de **cambios de condiciones de humedad y temperatura**, establecido en 12 ciclos de 24 horas a 4-7°C y 80-85% Hr, y 24 horas en estufa a 60-70°C. **La durabilidad es muy buena, no presentándose eflorescencias.**

Resistencia a la **Abrasión**:

ASTM C241-85. Ensayo a la Abrasión.

ASTM -131-1967

ASTM -535-1965

UNE 83-116-90

LNEC E 237. Norma portuguesa de determinación de la resistencia a la abrasión a través del ensayo de la máquina de los Angeles. Se coloca una porción de 5000grs > 1.68mm, de muestra, en un cilindro, con 11 esferas de acero, que efectua 500 rotaciones de 30 a 33rpm. Al terminar se criba, y se mide el retenido por el de 16.8mm.

-12 ciclos de **heladicidad**:

1º) <-23°C. La probeta descansa sobre lecho arenoso húmedo.(24 h). Al sacarla, se pesa y se mide el volumen. Se vuelve a poner en una cámara húmeda 22 horas + peso y volumen + raspado sobre lecho húmedo.

2º) 21°C (23 h).

3º) Raspado.

-12 ciclos de **humedad**:

1º) Inmersión (5h). Se sacan del agua y se vuelven a pesar. Se mide el diámetro medio y la altura.

2º) Secado a 71°C (42 h). Cálculo del volumen. Según el libro de estabilización de suelos,es suficiente con 24 horas. (M. Torrente, L. Sagues.Ed. Et.Asoc.)

3º) Raspado con púas metálicas normalizado a las 48 horas.

Se permiten pérdidas del 7 al 14% en peso (7% en suelos arcillosos, 10% en limosos y 14% en arenosos). Los cambios de volumen son admisibles en un 2%.

UNE 7403. **Ensayo Lambe** (índice de expansión y cambio potencial de volumen. determina el cambio potencial de volumen de parte arcillosa de un suelo. Se realiza sobre una fracción seleccionada de un suelo, por tanto sobre una muestra alterada. El suelo se cuartea, se seca y se pasa por el tamiz correspondiente. El material seleccionada se amasa, se introduce en el aparato Lambe y se inunda. También se determina su hinchamiento.

UNE 7018. ASTM E 29-40 T.Reglas para expresar algunas especificaciones numéricas de los ensayos de materiales: los ceros a la derecha son indicadores de la exactitud y tolerancia de la medida.Cuando la cifra siguiente a la última que hay que conservar es <5, no se varía la última cifra conservada. Si es > se aumenta una unidad. Si es =5, y la siguiente es impar, se aumentará en uno, quedando igual si es par. En este caso si está seguida en alguna cifra distinta de cero, se aumentará en 1 la última cifra que hay que conservar, ejemplo:

5,349	5,3
5,360	5,4
5,350	5,4
5,250	5,2

-Ensayos destructivos de prospección:

Otras referencias serían los ensayos destructivos y no destructivos utilizados para la evaluación de edificios históricos. Para ello estos se diferencian en dos grupos estructurales: primero estarían las estructuras abovedadas o en arco, que con el tiempo sufren desviaciones geométricas debido a su inestabilidad resistente, y el otro grupo sería el definido por las estructuras sometidas a grandes cargas por compresión, las cuales pueden sufrir un colapso repentino.

En algunas zonas sísmicas de Italia³⁹, se han realizado ensayos destructivos a escala real y compresión diagonal, hasta rotura, con equipos portátiles sobre el muro in situ. Estos ensayos generalmente son útiles para zonas con la previsión para ser demolidas.

-Ensayos no destructivos de prospección:

Los ensayos mecánicos sobre testigos o pequeños cortes hechos en el material pueden ser considerados como no destructivos. El problema de este tipo de ensayos está en definir las posibles distorsiones que puedan aparecer en los resultados, debidas a los propios aparatos y a la heterogeneidad del material, como en definir las correlaciones estadísticas entre ensayos destructivos (testimonios) con los no destructivos. Se aconseja diferenciar los lotes estructurales entre elementos verticales y horizontales, y utilizar un mínimo de 4 a 8 testimonios.

Técnicas de ensayo ⁴⁰	Nº ensayos para obtener la equivalencia a una probeta standard. (UNE 83302)
Testimonios Ø100	1
Testimonios Ø<50	3
Esclerómetro Schmidt. UNE 83307	10
Velocidad Ultrasonidos. UNE 83308	1
Breack-off	6
Pistola de Windsor	3

Posteriormente a estos se puede evaluar el material através de³⁹ :

Radar. Funciona por impulsos parcialmente reflejados por las superficies discontinuas en la constante dialéctica. Quedan reflejados los cambios de material y cavidades cuya posición se puede detectar calibrando las distancias de acuerdo al tiempo de transmisión registrado. La sensibilidad va en función de la longitud de onda utilizada, ya que las cavidades de tamaño inferior a esta no se detectan con claridad. Para muros de gran espesor es adecuado una longitud de onda del orden de 300 mm.

³⁹ Cuadernos Intemac nº 7 Madrid 1992. Estudios sobre la fábrica de ladrillo y mortero puzolánico de la torre medieval de Pavia.
⁴⁰ Aut. Francesc Hostalet Alba. Dr. Ingeniero de Caminos. Director Intemac Área 2ª. y ProfUPC.

Termografía. Se detecta la radiación térmica emitida por las partículas. Las cavidades claramente cortadas se detectan con claridad, y la existencia de cavidades pequeñas distribuidas aleatoriamente conducen a una disminución de la emisión que puede indicar unas propiedades mecánicas más bajas.

Sonda tomográfica. UNE 83308. La velocidad de propagación de las ondas mecánicas de longitud de onda diferente (sónicas y ultrasónicas) es función del módulo de elasticidad del material. Así, las medidas de velocidad a través de un muro o entre dos huecos paralelos, puede dar valores medios de las propiedades drásticas, que están en relación con la resistencia. La interpretación de los resultados es difícil de llevar a cabo en muros de gran espesor heterogéneos o alterados por fisuras y cavidades⁴¹, endoscopia en color. Permite la descripción detallada de la composición de los conglomerados como de la naturaleza y tamaño de las fisuras. Con una sonda televisiva permite obtener una sección del muro una sección morfológica.

Presurómetro. Esta incipiente térmica permite ejecutar ensayos de carga en el interior de los huecos. Los resultados son en función de la homogeneidad del material, y ventajosamente nos da datos sobre las propiedades internas y el nivel de los esfuerzos al comienzo de grandes deformaciones.

Gatos planos. Muy similar al anterior, da la relación, tensión- deformación del material in-situ. Se realiza entre pequeños cortes ejecutados mecánicamente en la superficie del muro. Niveles electrónicos pueden medir asentamientos diferenciales con una sensibilidad de 1/100 mm.

Teleordinómetros. Puede medir los desplazamientos horizontales de puntos con referencia a un péndulo con un sistema fotoeléctrico de sensibilidad 1/100 mm.

Sensores electroópticos de posición. Pueden medir la coordenadas de un objeto a una distancia mayor de 30m. con una precisión de 1mm.

Medidores de deformación. Son transductores potenciométricos que miden desplazamientos relativos o fisuraciones de 1/100 mm.

Acelerómetros y geófonos. Miden aceleraciones y velocidades debidas a fuertes vientos y terremotos.

Métodos de trabajo existentes para dosificaciones de la Tierra

COAATC. Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos y Aparejadores de Castellón Establecen una metodología normalizada para la caracterización en laboratorio de las muestras utilizadas para la ejecución de tapial. Los ensayos que consideran necesarios son: Obtención de muestra según la NLT 101/72 Granulometría; Límites de Atterberg NLT 105-106/72, Equivalente de arena NLT-133/72; Densidad máxima através del Proctor, siguiendo la NLT-108/72; y Resistencia a los esfuerzos de compresión simple, estableciendo una curva tensión-deformación. Para establecer un control sobre la obra de ejecución, tomaron cinco puntos representativos, por el método nuclear, para extraer probetas de la tapia, a las se efectuó el ensayo proctor.

Auroville Building Centre

Para la determinación⁴ de las mezclas y dosificaciones de los suelos a utilizar en la fabricación de BTC se utilizan los ensayos granulométricos y sedimentométricos, el

proctor, y los límites de Atterberg. El control en el proceso de ejecución se simplifica a la utilización de un penetrómetro de bolsillo, que establece una escala comparativa de durezas.

Se establece un periodo de curado para los bloques bajo plástico de dos días, y uno secundario de tres semanas, bajo esteras de coco y con tres regados diarios.

Botswana Technology Centre de Gaborone

Desde 1986 se está trabajando en la construcción de viviendas con bloque comprimido¹⁶. Se trabaja con dos tipologías de prensas, la belga CERATEC, ampliamente utilizada en habitats económicos, y elegida a partir de las buenas referencias de los proyectos ejecutados en la Seychelles, y la prensa Hydrablock de Hydraform, RSA, Sudáfrica.

Ante una dificultosa expansión de su utilización por la falta de un sistema de control de calidad, el centro ha iniciado un trabajo de identificación y análisis de las tierras presentes a 30Kms a la redonda. Sobre el control de calidad de laboratorio de los bloques se adoptan las exigencias establecidas por el Gaborone Citi Council de 3Mpa de resistencia media a compresión sobre 10 bloques, aunque las obtenidas en obra eran de 4Mpa a los 28 días. También se establecen ensayos de resistencia al fuego para los puntos con armados metálicos y anclajes de carpinterías metálicas. Se establece un ensayo de impermeabilización a 150Mpa de presión en periodos de diez horas. Como protección superficial complementaria se emplean pinturas de base cal+cemento, más dos capas de una dilución de agua con silicona en la base de los muros. Todo el método constructivo y de control establece una valoración económica de un 25% de reducción respecto a las tecnologías convencionales con bloque de cemento.

Ensayos de laboratorio del CRATERRE-Univ.Grenoble ¡Error! Marcador no definido.

Preparación de la Muestra: Hacer una pila en forma cónica de la tierra a analizar. Posteriormente se pasa a aplastarla y dividirla en cuatro partes. De éstas, se eligen dos cuartos opuestos de la pila, y se repite el procedimiento, hasta tener la cantidad deseada de muestra. Luego se seca la muestra a 105°C en estufa, hasta obtener peso constante, al cual denominaremos peso seco. P_s

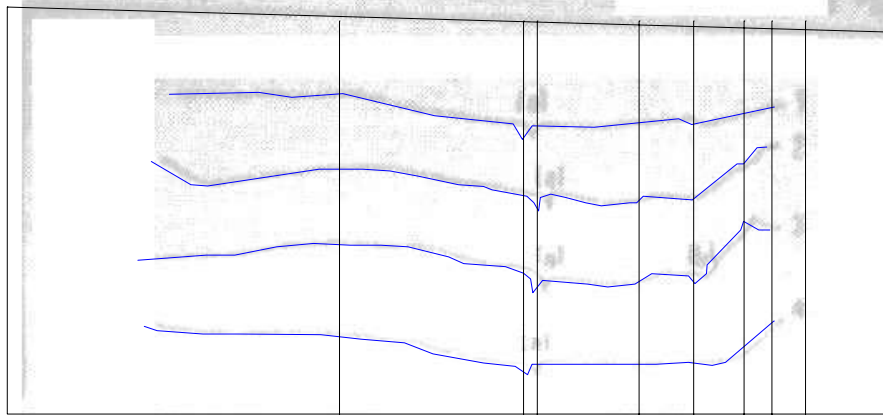
Granulometría: Se empieza con el tamizado, vertiendo la muestra sobre la columna de tamices. El sacudido mecánico o manual se efectúa con la tapadera colocada, poniendo en el primero agua hasta que en el tamiz inferior se llegue a un centímetro de agua. Posteriormente se colocan todas las porciones retenidas en el primer tamiz de 20mm, y se lavan cuidadosamente manualmente o con pincel, con lo cual se recuperan todas las arenas finas, limos y arcillas pegados a los áridos. Al finalizar es necesario enjuagar el tamiz con poca agua, para asegurar que no queden restos pegados. Verter el contenido en una sartén, y encender un camping-gas hasta conseguir la total evaporación del agua. Repetir la operación para toda la serie de tamices hasta llegar al de 0.080mm. Para los más finos utilizar sólo el pincel.

Sedimentometría:

Grupo Architerre de la Universidad de Saint-Etienne e INSA de Lyon.

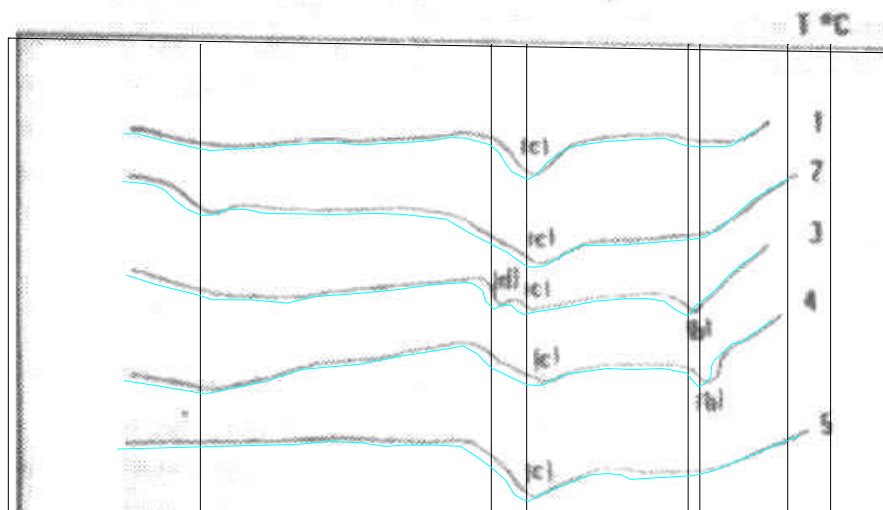
El Grupo Architerre y el INSA, Instituto Nacional de las Ciencias Aplicadas de Lyon, trabajaron en un nuevo método de estabilización^v de tierras basado en la utilización de puzolanas de síntesis, que evitara la caída de resistencias que se da con el cemento portland a partir de los 40 o 50 días. Antes de adicionar cualquier producto a la tierra, exponen en su estudio, la necesidad de determinar todos sus parámetros característicos, con una serie de ensayos granulométricos para la comprobación de los porcentajes presentes de arcillas, limos y arenas.

En el gráfico de la página siguiente se determinan las respectivas curvas ATD a las mezclas de limo y arcilla con cal, cemento portland, y la mezcla alternativa puzolánica de síntesis de metacaolín MK y cal. Éstas dos últimas ofrecen curvas térmicas similares, con lo cual se demuestra una vía alternativa para la formación de fases ACH y SCH.



- $\alpha : 570^\circ$ quartz
 $\beta : 615^\circ$ carbonate
 $\Delta T < 0$
1. Loess naturel
 2. Loess + 8% CPJ
 3. Loess + 8% chaux
 4. Loess + 8% MK/CH = 1

A. Loess après traitement à 180 jours



- $\alpha : 905^\circ$ kaolinite
 $\beta : 927^\circ$ chaux
 $\Delta T < 0$
1. Argile naturelle
 2. Argile + 8% CPJ - 90 jours
 3. Argile + 8% chaux - 28 jours
 4. Argile + 8% chaux - 90 jours
 5. Argile + 8% MK/CH = 1 - 90 jours

B. Argile de Sainte-Foy l'Argentière

Courbes d'A.T.D

Instituto Eduardo Torroja-CSIC

Cabe destacar el estudio

Red Latinoamericana Habiterra

"Recomendaciones para la elaboración de Normas Técnicas de construcciones de Adobe, Tapial, Ladrillos y Bloques de suelo-cemento"

Publicación de la Red XIV.A "Habiterra" resultado de los trabajos encomendados al Objetivo XIV.A.2 del que es responsable el ingeniero peruano Gianfranco Ottazzi.

Ensayos de campo

Los análisis descritos a continuación son unos ensayos bastante simples y empíricos que nos permiten identificar las características de la tierra susceptible de ser utilizada en construcción; con ellos podemos confirmar o rechazar la aptitud del material.

Normas referenciales:

ASTM D 2488-69 “ Standard Recommended Practice for Description of soils (visual-Manual-Procedure)

Descripción de los ensayos organolépticos más comunes:

1. Estudio de la sección del terreno. Nos proporciona una primera información muy gráfica sobre la composición y localización de las diferentes capas del suelo.

2. 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.

Sometidas a la acción del calor desprenden agua endureciéndose y contrayéndose. Son atacadas por los ácidos y en especial el sulfúrico de forma especial. Calentadas al soplete sobre carbón con una gota de nitrato de cobalto toman color azul ¹⁶.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Ensayo del brillo. Cortamos por la mitad con un cuchillo una bola de tierra ligeramente húmeda. Un aspecto mate de la superficie de corte indica una tierra más bien arenosa; mientras que un aspecto brillante nos indica que la tierra es arcillosa plástica

8. Ensayo de adherencia. Tomamos una masa de tierra húmeda no adherente y hundimos en ella una espátula o un cuchillo. La tierra es muy arcillosa si la espátula se hunde con dificultad y la tierra se adhiere al retirarla; medianamente arcillosa si la espátula penetra sin dificultad y la tierra se adhiere; y poco arcillosa si se hunde y se retira la espátula sin esfuerzo, incluso si queda sucia al retirarla.

9. Ensayo de retracción. Llenamos un molde de 60x8x4 cm. o 60x4x4 cm^{Error! Marcador no definido.} con la masa de tierra a estudiar, previo pintado con aceite desencofrante. La retracción a los 7 días deberá ser inferior a los 2 cm.

10. Ensayo de emparedado. Hacemos 6 mezclas diferentes de tierra arcillosa y arena para estudiar cual de ellas tiene la fisuración mínima como mortero. Las proporciones aconsejables pueden ser: 1/5 1/4 1/3 1/2 1/1 1/0,5. El grueso de la junta de mortero que se hará entre los dos bloques será entre 1,5 y 2 cm.

11. Ensayo de bolas. Este ensayo es indicativo de la cantidad máxima de arcilla. Hacemos 6 bolas y las dejamos secar 48 horas (no deberían romperse entre los dedos). A veces se hace lo mismo en pastillas de 2,5 cm. de diámetro y 1 cm. de grosor.

12. 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.

¹ “Terre d’avenir!” revista.H n°111, Edit. Union Nationale des H.L.M. París 1985.

² “Bases para el diseño y construcción con tapial”, Aut.G.Bauluz y P.Bárcena. Edit.MOPT Ministerio de Obras Públicas. Madrid 1992.

³ “Edificación con tierra armada”, Aut.J.L.Olarte, E.Guzman. Edit. Dirección General de Arquitectura comunidad de Madrid, 1993.

¹⁰“Bulletin d’information “CRA.Terre-EAG/Project GAIA/ICCROM n°12-13-14-15-16-17-18-19 (Centre Simone Signoret BP53 38090 Villefontaine -France).

¹¹ *La construcción con tierra estabilizada, utilización de la puzolana de síntesis. Aut. Joseph Tuset prof. Insa. Lyon. “ La tierra material de construcción” Instituto Eduardo Torroja. Monografía n° 385/386. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.Madrid 1987*