

Plasticidad de las arcillas

JOSE M.^a FERNANDEZ NAVARRO

Departamento de Silicatos del Patronato
"Juan de la Cierva", de Investigación
Técnica.

RESUMEN

Después de una discusión general del comportamiento plástico, se revisan los factores principales que influyen sobre esta propiedad. Se consideran los siguientes factores: 1) Contenido en agua, 2) Tamaño de partículas, 3) Forma de las partículas, 4) Agregación de las partículas, 5) Superficie específica, 6) Orientación de las partículas, 7) Adición de electrolitos, 8) Materia orgánica, 9) Aire ocluido, 10) Tratamiento térmico.

En la última parte del trabajo se hace una breve discusión de los métodos propuestos para medir la plasticidad de las masas cerámicas.

SUMMARY

After a general discussion of plastic behavior the main factors affecting this property are reviewed. The following factors are studied: 1) Water content, 2) Particle size, 3) Particle shape, 4) Aggregation of particles, 5) Specific area, 6) Orientation of particles, 7) Addition of electrolytes, 8) Organic matter, 9) Occluded air, 10) Thermal treatment.

The last part of the paper is devoted to a brief discussion of methods suggested to measure the plasticity of ceramic bodies.

I. Introducción.

El comportamiento de un cuerpo plástico puede considerarse intermedio entre el de un sólido elástico y un líquido viscoso. Llevando las cosas al límite, algunos autores proponen incluso que se admita este estado plástico como un cuarto estado de agregación de la materia. Por eso antes de intentar definir lo que es la plasticidad, debemos resumir y considerar algunas de las características inherentes a estos

dos estados ideales que limitan ese intervalo no bien definido en el que hay que encuadrar a los cuerpos plásticos.

El concepto de sólido rigurosamente elástico es una abstracción. Todos los cuerpos se llegan a deformar si las fuerzas que sobre ellos se aplican son suficientemente intensas. Cuando un cuerpo está deformado por una acción exterior y ésta cesa, el cuerpo, según sea su naturaleza, puede manifestar dos comportamientos diferentes. Unas veces recuperará su forma primitiva de una manera casi perfecta, y otras la deformación subsistirá sin que el cuerpo manifieste la menor tendencia a recobrar la forma que originariamente tenía. Los primeros son cuerpos elásticos y de los otros se dice que son plásticos o moldeables. En general, en la mayoría de los cuerpos predominará una de las dos tendencias, pero la otra, aunque menos acentuada, también existirá sin que sea posible una separación rigurosa entre las dos propiedades.

Hooke fue el primero que demostró de un modo experimental que para toda clase de acciones exteriores, siempre que las deformaciones producidas no pasen de un cierto límite, existe una proporcionalidad entre la acción deformadora y la deformación producida. Si se representan gráficamente los alargamientos (tomados en abscisas) que experimenta un hilo por acción de fuerzas deformadoras variables (en ordenadas), resulta una curva como la de la figura 1. De acuerdo con la ley de Hooke se obtiene primero un segmento rectilíneo OA; al aumentar la carga cesa la proporcionalidad y se obtiene una curva ABC que indica que el cuerpo se va haciendo cada vez más deformable hasta que para una carga OC' sobreviene la rotura y la curva termina en el punto C. La ordenada OC' se denomina límite de rotura y la ordenada OA' límite de elasticidad, que puede definirse como el valor de la deformación por encima del cual empiezan a producirse deformaciones permanentes. Es decir, que entre este valor y el límite de rotura el cuerpo en cuestión se comportará como plástico, y, al cesar la fuerza, subsistirá una deformación residual o permanente OO'.

Los líquidos ideales no tienen límite elástico. Un líquido ideal es aquel en el que no existe resistencia al deslizamiento entre sus moléculas, es decir, que no se crean en ellos fuerzas tangenciales. Si la resistencia al deslizamiento es grande el líquido fluirá con dificultad diciéndose entonces que es poco fluido o muy viscoso. Cada líquido se caracteriza en este aspecto por su coeficiente de viscosidad o bien por su recíproco que es el coeficiente de fluidez. Si suponemos una masa líquida que se desliza sobre un fondo horizontal, la velocidad que es nula en el fondo por efecto de la adherencia va aumentando en las capas horizontales superiores, siendo máxima en la superficie del líquido. Existe, pues, un gradiente de velocidad a lo largo de la vertical z el cual puede medirse por el aumento de velocidad correspondiente a la unidad de distancia. La fuerza tangencial f , que

ejerce una capa del fluido sobre otra contigua, es proporcional a su área A y al gradiente de velocidad:

$$f = \eta A \frac{dv}{dz}$$

siendo η el coeficiente de viscosidad.

Un cuerpo plástico, como hemos apuntado al principio, muestra un comportamiento intermedio entre el de un sólido y el de un líquido viscoso. Una de las maneras de poner de manifiesto su conducta ambigua es someterle a la acción de una presión. Mientras que un líquido en equilibrio comenzaría a fluir inmedia-

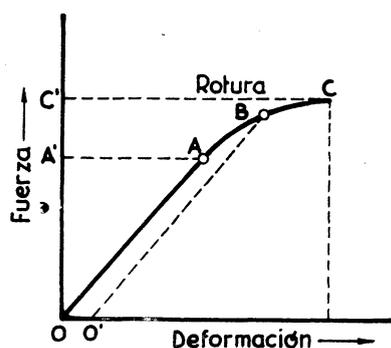


FIG. 1.—Diagrama esfuerzo-deformación.

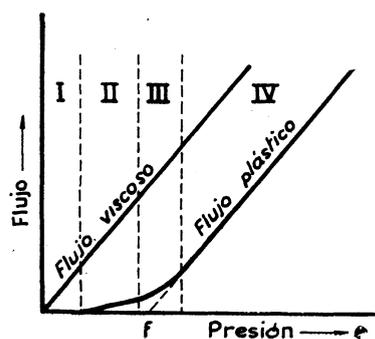


FIG. 2.—Zonas características en un flujo plástico según Scott Blair: I, no hay flujo; II, flujo en bloque; III, zona mixta; IV, flujo lineal.

tamente y lo haría con una velocidad proporcional a la presión sobre él aplicada, un sólido ideal permanecería indeformable hasta que la presión creciente venciera las fuerzas de enlace entre sus moléculas y sobreviniera la rotura. En cambio, un cuerpo plástico, en condiciones semejantes, queda al principio inmóvil como un sólido, pero, al alcanzar la presión un valor crítico, comienza a comportarse como un líquido y fluye con velocidad proporcional a la presión.

Scott Blair y Bingham han estudiado el comportamiento a la extrusión de una masa plástica de arcilla y distinguen en él cuatro etapas diferentes que se representan en la figura 2.

En la zona I aún no existe flujo alguno por aplicación de una presión.

Cuando se rebasa un cierto punto crítico, tiene lugar una deformación en toda la masa de arcilla que empieza a deslizarse gracias a la acción lubricante de una película de agua que procede de someter a una presión creciente la masa arcillosa. Este es un flujo en bloque (zona II).

Si se continúa elevando la presión, se inicia además un deslizamiento mutuo entre las partículas laminares de la arcilla y se entra en la zona III que se puede denominar de flujo mixto.

En la región siguiente, IV, se consigue un deslizamiento total entre las partículas de la arcilla y tiene lugar un flujo lineal, comparable al flujo viscoso de un líquido verdadero. Existe una proporcionalidad entre la fuerza aplicada y el efecto de cizalladura resultante que se traduce en el tramo recto de la curva. La prolongación de esta parte recta, correspondiente al flujo lineal, nunca pasa por el origen. La abscisa f de su punto de intersección con el eje de las presiones se denomina coeficiente de rigidez estática y es considerado por algunos autores como una medida directa de la plasticidad.

Análogamente a la ecuación que relaciona el flujo de un líquido viscoso verdadero con la presión F aplicada sobre él, Bingham formuló su expresión para un flujo plástico como función de la diferencia $F - f$, en la forma:

$$v = K \mu (F - f)$$

siendo K una consonante y μ el coeficiente de movilidad. En los sólidos es $f > 0$ y en los líquidos se anula, $f = 0$, reduciéndose la expresión anterior a

$$v = \mu F$$

donde μ es el coeficiente de fluidez inverso del coeficiente de viscosidad η ;

$$\mu = \frac{1}{\eta} .$$

El flujo plástico se puede poner de manifiesto en aquellos casos en que coexisten dos fases, una líquida y otra sólida, cuando hay entre ellas una cohesión apreciable y llegan a formar en apariencia un todo uniforme.

II. Plasticidad.

Ninguna de las definiciones dadas para este término puede considerarse totalmente adecuada, lo cual no es de extrañar, ya que esta propiedad se debe a un

complejo y oscuro mecanismo en el que intervienen numerosos factores, y mal se puede definir un fenómeno si no se conoce la verdadera esencia del mismo.

Podríamos hacer un intento de definición diciendo que la plasticidad es la capacidad que tienen algunos materiales para modificar su forma por acción de una fuerza exterior, subsistiendo tal deformación después de cesar la causa que la produjo. Cualitativamente podemos, pues, comparar la plasticidad con la maleabilidad de los metales.

Una sustancia plástica difiere de un líquido viscoso y de un sólido elástico en que éstos recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza deformante. Al mismo tiempo el estado plástico participa de alguna de las propiedades características de los dos estados extremos, sólido y líquido.

En el aspecto tecnológico, la plasticidad es una de las propiedades más importantes de muchos materiales, hasta el punto de que la utilidad de los mismos viene frecuentemente condicionada a esta cualidad. Prueba de su importancia es que el término plástico ha alcanzado la categoría de ser elegido como título genérico de esa gran familia de materiales que son las macromoléculas de síntesis, cuyas innumerables aplicaciones se deben a su aptitud para ser fácilmente moldeados.

Existe gran variedad de cuerpos plásticos que se diferencian muchas veces por las condiciones determinadas que deben reunir para que puedan manifestar su plasticidad.

De acuerdo con esto, A. B. Searle y R. W. Grimshaw clasifican los materiales plásticos en dos amplios grupos:

1) Sustancias homogéneas formadas por una sola fase cuyas propiedades plásticas se modifican por alteración de su temperatura o de su presión. Así, el vidrio, la cera, el lacre y otros muchos materiales se vuelven plásticos en el intervalo de temperatura comprendido entre su punto de reblandecimiento y el de fusión. Esta plasticidad es muy parecida a la viscosidad de los líquidos. Otras sustancias, como el caucho, son plásticas en frío y se vuelven rígidas cuando se calientan mezcladas con un agente vulcanizante.

Muchos metales y algunos cristales manifiestan también un comportamiento plástico, aunque más restringido, cuando se someten a la acción de elevadas presiones. Esto se atribuye a la creación de direcciones preferentes de deslizamiento por rotura o defectos cristalinos.

2) Sustancias heterogéneas formadas por más de una fase que deben su plasticidad a la coexistencia de partículas sólidas y una fase líquida que actúa como lubricante y aglomerante de las primeras. Las propiedades plásticas de estos materiales desaparecen simplemente por secado.

En este grupo se incluyen, entre otros, las pastas para modelado, la masilla de

vidrieros y, sobre todo, las arcillas, cuyo comportamiento plástico, junto con su poder refractario, es la propiedad más importante que presentan.

El mecanismo de la plasticidad de las arcillas ha sido muy estudiado y discutido. En principio se puede explicar por qué una pasta de arcilla consta de multitud de partículas sólidas rodeadas por delgadas películas de agua que forman una cubierta viscosa. El espesor de la envoltura acuosa debe ser el suficiente para permitir a las partículas deslizarse entre sí cuando se someten a una fuerza de cizalladura. La fase líquida desempeña simultáneamente un doble papel; de un lado actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento entre las partículas sólidas, y, de otro, al formar una tenue y elástica película envolvente, impide que aquéllas se separen demasiado. La plasticidad dependerá de la cohesión y la cohesión, de la afinidad entre las partículas de sólido y líquido. Como es sabido, los líquidos de naturaleza polar aumentan la plasticidad de las arcillas, porque ejercen una atracción más intensa sobre sus partículas. Las partículas de arcilla, debido a que pre-

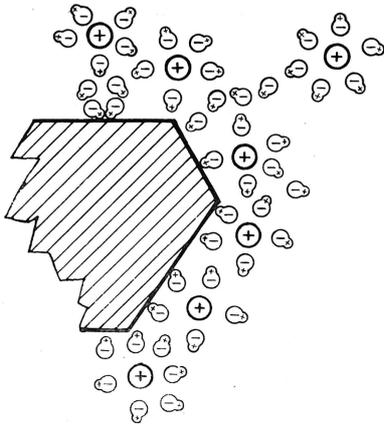


FIG. 3.—Partículas de arcilla rodeadas de dipolos de agua y cationes.

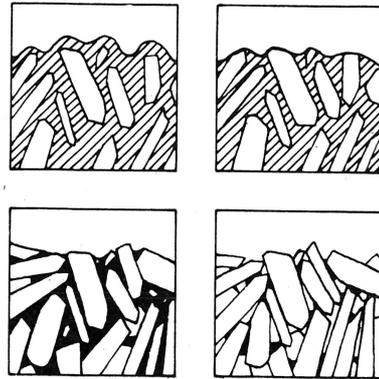


FIG. 4.—Aspectos de una misma masa de arcilla con diferentes contenidos de humedad, según F. H. Norton.

sentan enlaces rotos y cargas eléctricas negativas sin neutralizar, cuando se suspenden en agua, se rodean de un manto acuoso en cuyo interior existen iones de diferentes cargas. Las cargas negativas, que muestra la partícula en su periferia, tienden a compensarse por un enjambre de cationes que están difusos por toda la película acuosa, cuyo espesor variará según el número, tamaño, carga y grado de hidratación de dichos cationes (fig. 3).

Del espesor de la película húmeda dependerá la separación entre las partículas de arcilla y, en consecuencia, su movilidad. Por eso, cuando el contenido de agua

es relativamente elevado, la envoltura acuosa es más gruesa y puede haber flujo viscoso. Por el contrario, si la proporción de agua es baja, las partículas de arcilla se encuentran más próximas y aumenta la cohesión entre ellas. Esto explica que los cationes pequeños sin solvatar, adsorbidos alrededor de una partícula de arcilla, proporcionen una mayor plasticidad que los cationes grandes solvatados.

La viscosidad de la fase líquida también influye sobre la cohesión entre las partículas. Los líquidos muy móviles, de baja viscosidad, no pueden utilizarse para preparar masas plásticas por ser poco adherentes las películas que forman. El agua, al tener una viscosidad moderada, se puede emplear satisfactoriamente.

Estas breves consideraciones no bastan, sin embargo, para explicar el complejo y oscuro mecanismo de la plasticidad cuya causa hay que atribuir a diferentes acciones superpuestas cuya influencia se señala en el apartado siguiente.

III. Causas modificadoras de la plasticidad.

Para poder comparar las propiedades plásticas de diferentes arcillas hay que considerar previamente una serie de factores que, de un modo u otro, ejercen una marcada influencia en la plasticidad.

Estos factores, estudiados por A. B. Searle y R. W. Grimshaw en su magnífica obra "The Chemistry and Physics of Clays", son:

- a) Contenido en agua.
- b) Tamaño de las partículas.
- c) Forma y estructura de las partículas.
- d) Agregación de las partículas.
- e) Superficie específica de las partículas.
- f) Orientación de las partículas.
- g) Adición de electrolitos y floculantes.
- h) Presencia de materia orgánica.
- i) Influencia del aire ocluido.
- j) Tratamiento térmico.

a) *Influencia del contenido en agua.*—La plasticidad de una arcilla está estrechamente relacionada con la formación de películas de agua (fig. 4) alrededor de sus partículas, por lo que esta propiedad puede considerarse en principio como una función del contenido total de agua y de la superficie del conjunto de partículas que integran la masa de arcilla.

Norton, para explicar el mecanismo de la plasticidad, formuló su teoría de la membrana tensa. Considera que entre las partículas de una masa plástica de arcilla existen, por una parte, fuerzas repulsivas y por otra, la tensión superficial del agua que las rodea y que tiende a mantenerlas unidas formando un todo continuo. La máxima plasticidad se consigue, según Norton, cuando la proporción de agua es la justa para llenar la red de estrechos capilares que quedan entre las partículas individuales, formando una membrana tensa que las mantiene unidas. Para contenidos superiores de agua la tensión se relaja y disminuyen las fuerzas de unión. Por el contrario, si la cantidad de agua es muy pequeña, la envoltura que rodea a las partículas se rompe y la plasticidad desaparece.

Otros autores consideran que esta teoría de la membrana tensa no basta para explicar la influencia de la adición de electrolitos, que pueden modificar la plasticidad de un sistema sin variar el contenido de agua.

Aunque no es posible calcular con exactitud el espesor del manto de agua de las partículas de arcilla en sus condiciones de máxima plasticidad, Norton y Hodgdon han deducido que, bajo una presión de 8 Kg/cm^2 , dicho espesor oscila de unas arcillas a otras entre los 2.100 y 3.400 Å.

Resulta interesante recordar que el esfuerzo necesario para separar dos láminas paralelas, entre las que existe una película de agua, es precisamente 8 Kg/cm^2 , cuando la separación entre ellas es de 2.000 Å, sorprendente concordancia de la que se podría deducir recíprocamente que la plasticidad de una pasta será máxima cuando el espesor de la película de agua existente entre sus partículas sea de ese orden.

La cantidad de agua que será preciso añadir a una arcilla para poderla moldear dependerá, pues, de la superficie real de sólido que se tenga y se comprende que, cuanto mayor sea su proporción de finos, así como también la cantidad de materia coloidal, más elevado será el volumen de agua que requiera. Este valor en la práctica no es absolutamente riguroso ya que todas las arcillas admiten agua entre unos límites en que su plasticidad se mantiene suficientemente elevada (fig. 5). Este margen, que se puede denominar intervalo de laborabilidad o de moldeabilidad, es variable de unas arcillas a otras, aunque se mantiene para las medianamente plásticas entre el 15 — 35 % de agua.

J. W. Mellor ha demostrado que la plasticidad de una arcilla se modifica por efecto de la presión a que se someta y de la deformación que sufra. Por esta razón la cantidad de agua que hay que añadir a una arcilla para que alcance una plasticidad determinada depende del método que se vaya a emplear para moldearla. En general se requerirá mayor proporción de agua cuanto menor sea la presión a que se trabaja. Así, una masa, para moldear ladrillos a mano debe ser más blanda y tener un contenido más elevado de humedad que cuando se utilice para prensarlos

a máquina. Es éste un detalle aparentemente sin importancia, pero cuya omisión puede dar lugar a una producción defectuosa.

Mellor demostró experimentalmente que la plasticidad máxima de una cierta arcilla necesitaba para manifestarse proporciones crecientes de agua a medida que disminuía la presión:

<i>Presión en Kg/cm²</i>	<i>% H₂O</i>
200	5.6
150	8.8
100	12.5
50	19.2
25	23.0
1	26.5

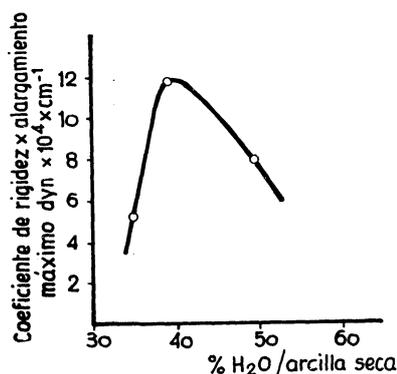


FIG. 5.—Diagrama de moldeabilidad de una pasta de arcilla en función de la proporción de agua, según F. H. Norton.

b) *Influencia del tamaño de las partículas.*—Otra de las causas responsables de la plasticidad de las arcillas es la extremada finura de grano de estos minerales. Esta relación entre plasticidad y tamaño de grano, que ya fue establecida por Seger y posteriormente ha sido estudiada por otros autores, aparece en otros materiales distintos de la arcilla. Muchas sustancias no plásticas pueden manifestar una cierta plasticidad si se molturan hasta un grado de finura suficiente. Así, el cuarzo y la caliza, molidos y pasados a través de un tamiz de 200 mallas, cuando se mezclan con una pequeña cantidad de agua, resultan moderadamente plásticos. En otras sustancias como el fluoruro cálcico, el sulfato de bario, el óxido de circonio, el feldespato, el vidrio molido, etc., aparecen propiedades similares. Sin embargo, las masas ligeramente plásticas a que dan lugar estas sustancias rara vez pueden moldearse con la misma facilidad que una pasta arcillosa. Además las formas obtenidas carecen de la cohesión necesaria y al secar se desmoronan.

La plasticidad en estos casos suele ser tan pequeña que si bien no puede negarse que el tamaño de las partículas modifica las propiedades plásticas, tampoco puede atribuírsele una importancia decisiva en la plasticidad y debe ser considerado sólo como uno de los muchos factores que la determinan.

Prueba de lo que decimos es que si en una arcilla separamos la fracción más fina, su plasticidad disminuye notablemente y casi desaparece. Asimismo una arcilla mejora sus propiedades plásticas cuando se aumenta el grado de finura, mientras que la adición de granos gruesos la perjudican. Pero en contra de esto tenemos el hecho de que arcillas compuestas por granos más finos no son precisamente las más plásticas, y cuando una arcilla se descompone por el calor, estas partículas son más pequeñas que las originales de las que proceden y en consecuencia debieran ser más plásticas; sin embargo, no es esto lo que sucede, pues el material resultante carece casi en absoluto de plasticidad.

c) *Influencia de la forma y estructura de las partículas.*—Uno de los factores que más unánimemente se han considerado como causa de la plasticidad de las arcillas es la forma laminar de sus partículas. Esto ha sido confirmado experimentalmente por algunos investigadores. Atterberg estudió una serie de sustancias finamente pulverizadas cuyas partículas eran laminares (BaSO_4 , BaCO_3 , SrCO_3 , CaF_2 , etc.), Todas ellas podían moldearse fácilmente con un 20 a 25 % de agua. Otros minerales con un hábito cristalino más regular, como el cuarzo, feldespato, etcétera, no presentaban ninguna plasticidad, aún cuando se hubieran molido al mismo tamaño.

Le Chatelier consideró igualmente que la forma laminar de las partículas arcillosas condicionaba su plasticidad. Utilizó minerales de forma laminar, como glauconita, mica, pirofilita y talco que, bien pulverizados, le permitieron obtener masas plásticas. Para explicar el diferente comportamiento plástico de masas laminares y masas granulares, pone el ejemplo siguiente: Si sobre una mesa se echa una baraja de naipes, éstos conservan sus posiciones relativas; en cambio, si lo que echamos sobre la mesa es un puñado de dados o de bolas, cada uno procede independientemente y todos ellos se disgregan.

Otra confirmación de la importancia de la forma laminar de las arcillas es que si se somete un caolín plástico a una molienda larga, lejos de mejorar su plasticidad, como pudiera pensarse a primera vista, se empeora, debido a que se destruye la estructura laminar de las partículas.

Aunque esta naturaleza laminar de las arcillas favorece grandemente sus propiedades plásticas, no quiere decirse con ello que sea la única forma bajo la cual pueda manifestarse. Las partículas fibrilares como las de atapulgita y haloisita dan lugar a masas también de elevada plasticidad. Tanto en el caso de arcillas laminares como fibrilares, la plasticidad está exaltada por la gran superficie específica que presentan, factor este que se considera más adelante.

d) *Influencia de la agregación de las partículas.*—La experiencia parece demostrar que la distribución de las partículas tiene un marcado efecto en la plasti-

cidad de las arcillas. Se ha encontrado que las arcillas de grano muy fino y las de grano muy grueso son menos plásticas que las que contienen simultáneamente granos finos y gruesos. Según ha sugerido Mellor, esto se debe a que una distribución de granos de diferentes tamaños permite un empaquetamiento más cerrado y más compacto que proporciona una mayor plasticidad.

Para Schurecht, en cambio, la causa de que unas arcillas conserven su plasticidad después de eliminar los finos, mientras que otras la pierden, se debe al hecho de que las primeras consisten en agregados sueltos de partículas de arcilla que, por agitación, pueden romperse, dejando menos porciones de finos; en cambio las otras, al estar más aglomeradas, necesitan fuerzas mayores para separarse. Así se explica que en las arcillas "ball" se puedan producir más finos que en otros caolines, porque los agregados de aquéllas están compuestos de granos más pequeños y en consecuencia manifiestan mayor plasticidad.

e) *Influencia de la superficie específica.*—En las arcillas, debido al pequeño tamaño de sus partículas y a la gran superficie que consecuentemente presentan, aparecen muy exaltados todos los fenómenos de superficie, como son las propiedades coloidales, la atracción intermolecular, etc., y, por tanto, su plasticidad viene también notablemente afectada por el valor de dicha superficie.

A. B. Searle y R. W. Grimshaw en su obra ya mencionada, de la que hemos entresacado parte del material de este artículo, presentan de manera muy ilustrativa y sencilla el estudio de este punto.

Consideran que los dos factores que influyen en la superficie total de un conjunto de partículas son, por una parte, el tamaño de éstas, y por otra, la forma de las mismas.

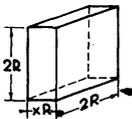
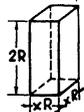
				
Volumen de la partícula	$\frac{4}{3} \pi R^3$	$8R^3$	$4xR^3$	$2x^2R^3$
Número de partículas por gramo	$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}$	$\frac{1}{8R^3 \rho}$	$\frac{1}{4xR^3 \rho}$	$\frac{1}{2x^2R^3 \rho}$
Superficie de la partícula	$4\pi R^2$	$24R^2$	$8R^2 + 8xR^2$	$8xR^2 + 2x^2R^2$
Superficie específica	$\frac{4\pi R^2}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3}{R\rho}$	$\frac{24R^2}{8R^3 \rho} = \frac{3}{R\rho}$	$\frac{8R^2(1+x)}{4xR^3 \rho} = \frac{2(1+x)}{xR\rho}$	$\frac{2xR^2(4+x)}{2x^2R^3 \rho} = \frac{4+x}{xR\rho}$

FIG. 6.—Valores de la superficie específica en diferentes cuerpos geométricos, según Shearle y Grimshaw ("The Chemistry and Physics of Clays", Edit. Ernest Benn Ltd., Londres 1959).

Para determinar la influencia del tamaño de las partículas basta tomar dos esferas de radios $10 R$ cm y R cm. Supuestas del mismo material de densidad ρ , el número de esferas contenidas en cada gramo será respectivamente

$$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi (10 R)^3 \rho} \quad y \quad \frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}$$

La superficie específica expresada en cm^2 por gramo se obtiene multiplicando los valores anteriores por el área de cada esfera:

$$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi (10 R)^3 \rho} \cdot 4 \pi (10 R)^2 = \frac{3}{10 R \rho}$$

$$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho} \cdot 4 \pi R^2 = \frac{3}{R \rho}$$

De aquí se deduce inmediatamente que el resultado de disminuir diez veces el tamaño de las partículas supone un aumento de la superficie específica en la misma proporción.

Para estudiar la influencia de la forma de las partículas en el valor de la superficie, eligen como ejemplos geométricos más representativos una esfera, un cubo, una lámina y un prisma de dimensiones comparables. Se ha tomado en todos los casos como dimensión mayor $2 R$ cm y como la menor $X R$ cm, siendo X un factor de reducción inferior a la unidad. Suponiendo que la densidad es siempre la misma, se obtienen mediante un cálculo muy sencillo las expresiones generales consignadas en la figura 6.

En el caso particular de que en los dos prismas considerados, el laminar y el acicular, la dimensión predominante guardase con la más pequeña la relación $1 : 10$ (o sea $R = 1$ y $X = 0,1$), los valores de las superficies específicas de las cuatro figuras elegidas estarían en la proporción.

esfera : cubo : lámina : fibra :: $3 : 3 : 22 : 41$.

cidad de las arcillas. Se ha encontrado que las arcillas de grano muy fino y las de grano muy grueso son menos plásticas que las que contienen simultáneamente granos finos y gruesos. Según ha sugerido Mellor, esto se debe a que una distribución de granos de diferentes tamaños permite un empaquetamiento más cerrado y más compacto que proporciona una mayor plasticidad.

Para Schurecht, en cambio, la causa de que unas arcillas conserven su plasticidad después de eliminar los finos, mientras que otras la pierden, se debe al hecho de que las primeras consisten en agregados sueltos de partículas de arcilla que, por agitación, pueden romperse, dejando menos porciones de finos; en cambio las otras, al estar más aglomeradas, necesitan fuerzas mayores para separarse. Así se explica que en las arcillas "ball" se puedan producir más finos que en otros caolines, porque los agregados de aquéllas están compuestos de granos más pequeños y en consecuencia manifiestan mayor plasticidad.

e) *Influencia de la superficie específica.*—En las arcillas, debido al pequeño tamaño de sus partículas y a la gran superficie que consecuentemente presentan, aparecen muy exaltados todos los fenómenos de superficie, como son las propiedades coloidales, la atracción intermolecular, etc., y, por tanto, su plasticidad viene también notablemente afectada por el valor de dicha superficie.

A. B. Searle y R. W. Grimshaw en su obra ya mencionada, de la que hemos entresacado parte del material de este artículo, presentan de manera muy ilustrativa y sencilla el estudio de este punto.

Consideran que los dos factores que influyen en la superficie total de un conjunto de partículas son, por una parte, el tamaño de éstas, y por otra, la forma de las mismas.

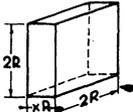
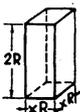
				
Volumen de la partícula	$\frac{4}{3} \pi R^3$	$8R^3$	$4xR^3$	$2x^2R^3$
Número de partículas por gramo	$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}$	$\frac{1}{8R^3 \rho}$	$\frac{1}{4xR^3 \rho}$	$\frac{1}{2x^2R^3 \rho}$
Superficie de la partícula	$4\pi R^2$	$24R^2$	$8R^2 + 8xR^2$	$8xR^2 + 2x^2R^2$
Superficie específica	$\frac{4\pi R^2}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3}{R}$	$\frac{24R^2}{8R^3} = \frac{3}{R}$	$\frac{8R^2(1+x)}{4xR^3} = \frac{2(1+x)}{xR}$	$\frac{2xR^2(4+x)}{2x^2R^3} = \frac{4+x}{xR}$

FIG. 6.—Valores de la superficie específica en diferentes cuerpos geométricos, según Shearle y Grimshaw ("The Chemistry and Physics of Clays", Edit. Ernest Benn Ltd., Londres 1959).

Para determinar la influencia del tamaño de las partículas basta tomar dos esferas de radios $10 R$ cm y R cm. Supuestas del mismo material de densidad ρ , el número de esferas contenidas en cada gramo será respectivamente

$$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi (10 R)^3 \rho} \quad \text{y} \quad \frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}$$

La superficie específica expresada en cm^2 por gramo se obtiene multiplicando los valores anteriores por el área de cada esfera:

$$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi (10 R)^3 \rho} \cdot 4 \pi (10 R)^2 = \frac{3}{10 R \rho}$$

$$\frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho} \cdot 4 \pi R^2 = \frac{3}{R \rho}$$

De aquí se deduce inmediatamente que el resultado de disminuir diez veces el tamaño de las partículas supone un aumento de la superficie específica en la misma proporción.

Para estudiar la influencia de la forma de las partículas en el valor de la superficie, eligen como ejemplos geométricos más representativos una esfera, un cubo, una lámina y un prisma de dimensiones comparables. Se ha tomado en todos los casos como dimensión mayor $2 R$ cm y como la menor $X R$ cm, siendo X un factor de reducción inferior a la unidad. Suponiendo que la densidad es siempre la misma, se obtienen mediante un cálculo muy sencillo las expresiones generales consignadas en la figura 6.

En el caso particular de que en los dos prismas considerados, el laminar y el acicular, la dimensión predominante guardase con la más pequeña la relación $1 : 10$ (o sea $R = 1$ y $X = 0,1$), los valores de las superficies específicas de las cuatro figuras elegidas estarían en la proporción.

esfera : cubo : lámina : fibra :: 3 : 3 : 22 : 41.

Esto nos explica por qué las partículas laminares y aciculares presentan una plasticidad mucho mayor que las que tienen forma esférica o cúbica.

En la práctica nunca nos encontraremos con formas cristalinas ideales a las que poder aplicar los valores teóricamente calculados, ya que las partículas elementales de las arcillas y de los demás materiales plásticos distan mucho de ser geoméricamente perfectos, pues en su meteorización y arrastre los granos de arcilla se rompen y se deforman. Por eso la superficie específica real suele ser bastante mayor que la calculada teóricamente a partir de medidas de tamaño de partículas.

f) *Influencia de la orientación de las partículas.*—La forma frecuentemente laminar de las partículas de arcilla da lugar a efectos muy marcados de orientación que pueden modificar de modo apreciable la plasticidad de las pastas húmedas. Esta influencia puede ponerse de manifiesto orientando las partículas de una suspensión de arcilla, para lo cual bastará dejarlas sedimentar decantando después el exceso de agua y desecando en vacío. Las laminillas de arcilla se dispondrán en la masa acostadas unas sobre otras con su plano principal paralelo a la dirección de colocación.

Se comprende que, así dispuestas, la masa resultante ofrezca una mayor resistencia, o más elevado coeficiente de rigidez estática, cuando se aplique una fuerza vertical, o sea perpendicular a la dirección de colocación de las laminillas. En cambio, si la dirección de la fuerza aplicada fuese paralela a la dirección del lecho, el flujo se iniciaría para un valor de la presión mucho más bajo, lo que se explica porque las laminillas deslizan con facilidad unas sobre otras.

La plasticidad que normalmente presente una arcilla con sus partículas diti- buídas al azar será intermedia entre la de los dos casos límites anteriores. Esta plasticidad inicial puede también modificarse por acción de la presión que tiene un efecto orientador sobre las partículas (fig. 7).

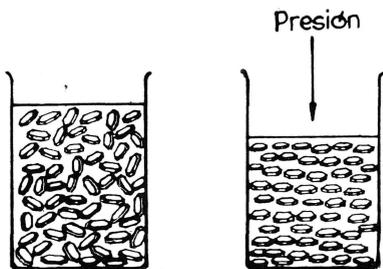


FIG. 7.—El aumento de presión tiene un efecto orientador sobre las partículas de una masa plástica.

Por eso siempre que se moldea un pasta de arcilla se produce como consecuencia de la presión ejercida durante su amasamiento una alteración en la disposición de las partículas que la componen. Generalmente éstas se orientan buscando una ordenación más estable que conduce a un cierto endurecimiento de la masa plástica. A ello contribuye asimismo el que, debido a la presión exterior aplicada, tiene lugar una migración de agua hacia el centro de la masa buscando las zonas de menor presión. Después de moldeada la pieza y debido a la desigual distribución del agua en su interior, todavía puede proseguir el movimiento de ordenación anteriormente iniciado de sus partículas, que a veces continúa incluso durante el secado y la cocción. Este fenómeno, tan familiar para muchos ceramistas, es el que se conoce con el nombre de memoria de las arcillas y es el origen de muchas deformaciones.

Otra manera de alterar la cohesión de una masa de arcilla, según ha comprobado Macey, es la de modificar su estructura por un golpeo repetido o vibración, lo que equivale a someterla a fuerzas alternativas de tracción y compresión. Este movimiento produce una relajación de las fuerzas de unión entre las partículas al orientarse éstas paralelamente favoreciendo una dirección de deslizamiento.

Relacionado con el fenómeno anterior hay que citar el de dilatación, que puede presentarse alguna vez en las arcillas, si bien es más propio de los materiales no plásticos. La dilatación consiste en el aumento de volumen que experimenta una masa húmeda al ser moldeada. Se puede observar en la arena húmeda de la playa, que aparentemente forma una masa rígida, pero basta golpearla o comprimirla para que se fluidifique y aumente su plasticidad. Se explica este hecho porque al desordenar sus partículas, disminuye su cohesión y aumenta su volumen.

g) *Influencia de los electrolitos y floculantes.*—Hasta ahora sólo hemos comentado una serie de factores de naturaleza mecánica como causas modificadoras de la plasticidad. Sin embargo, tanta o más importancia que aquéllos tiene la presencia de sales solubles en una arcilla. Los iones procedentes de estas sales, al disolverse en agua y disociarse, alterarán el pequeño campo eléctrico creado por las partículas de arcilla cargadas y modificarán las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión entre las mismas. Además los iones adsorbidos en la periferia de las partículas arcillosas, también modificarán las distancias interlaminares. Todo esto, unido a que los electrolitos producen una variación en la tensión superficial de la fase líquida, repercute profundamente en la plasticidad.

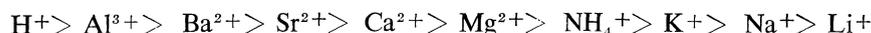
Es sabido que si se toma una pasta dura de arcilla y se le agregan unas gotas de disolución de carbonato o de silicato sódico aumenta notablemente su fluidez; pero al continuar la adición, la masa se torna más viscosa hasta que se vuelve a endurecer. Si ahora se le agregan unas gotas de ácido, al principio aumenta de

nuevo su plasticidad, alcanza un valor máximo y vuelve a disminuir a medida que se sigue añadiendo ácido. La explicación de este fenómeno reside en que los iones OH⁻ procedentes de la disolución alcalina repelen a las partículas de arcilla cargadas negativamente y la repulsión aumenta con la concentración de oxhidrilos, mejorando la fluidez. Si se agrega álcali en exceso, se puede invertir el efecto producido inicialmente, porque penetren algunos iones alcalinos en el interior de la doble capa de Helmholtz, sus cargas positivas neutralicen parcialmente las negativas de la arcilla y disminuya la repulsión entre sus partículas perdiéndose plasticidad.

Si se admite la adsorción de cationes por las partículas de arcilla, entre éstas y aquéllos se establecen una serie de dipolos de agua dirigidos formándose una doble capa eléctrica (fig. 3).

Según ha demostrado Thiessen mediante fotografías tomadas con el microscopio electrónico, esta adsorción de los cationes tiene lugar en las aristas de la partícula arcillosa.

Los iones procedentes de los electrolitos se recubren por un manto de agua. Los cationes adsorbidos sobre las partículas con carga negativa se ordenan según la serie de Hofmeister, que indica que cada ión puede desplazar en la adsorción a los que tiene a la derecha, siempre que los iones considerados estén a la misma concentración:



El espesor de la doble capa aumenta de izquierda a derecha, mientras que la plasticidad y la viscosidad lo hacen en sentido contrario.

Por lo tanto, el agua en contacto íntimo con la superficie de arcilla está influida por los cationes asociados. Diversos autores sugieren que cuanto mayor sea la concentración catiónica junto a la superficie de la partícula coloidal, más firmemente estará unida el agua. Los cationes pequeños y de elevada valencia (Ca⁺⁺, H⁺, etc.), cuando sean adsorbidos tenderán a dar una mayor proporción de agua unida que los muy voluminosos y de poca carga. En una masa plástica donde las partículas estén muy apretadas, las películas de agua adsorbida alrededor de cada microcristal de arcilla se unen de tal modo que la fuerza necesaria para romper tales masas dependerá del grado de unión del agua. Debido a que las películas de agua que rodean a las partículas de arcilla son más flexibles cuando los cationes adsorbidos son alcalinos, tales pastas son susceptibles de mayores deformaciones, aunque se rompen más fácilmente que las arcillas ácidas o cálcicas.

La cantidad de agua requerida para producir una masa plástica es mayor en una arcilla ácida o cálcica que en una que tenga sodio como catión de cambio;

así, para un contenido determinado de agua, las arcillas ácidas o cálcicas necesitan mayores presiones para ser moldeadas, aunque el cuerpo en verde es más resistente y menos deformable que en las arcillas sódicas.

En general, el margen del contenido en agua dentro del cual la arcilla es moldeable es mayor en las arcillas sódicas que en las ácidas y cálcicas.

La adición de materiales que disminuyen la tensión superficial del agua, hacen también más fluída una masa plástica. Tales agentes que permiten utilizar suspensiones más concentradas, sin perjuicio de las propiedades refractarias, encuentran cada vez más aplicación industrial.

h) *Influencia de la materia orgánica.*—Los coloides orgánicos, como tanino, lignina, humus, etc., pueden estar presentes en la arcilla y afectar, por tanto, la plasticidad de la misma. Actúan como coloides protectores alrededor de las partículas arcillosas mejorando sus propiedades plásticas.

Para aumentar la plasticidad está muy difundido un método que consiste en dejar en reposo en estado húmedo las masas trabajadas y desgrasadas, durante algunas semanas o meses antes de efectuar su moldeo.

La flora microbiana de los suelos y de las aguas naturales puede desarrollarse también en las arcillas y a sus procesos fermentativos se debe indirectamente un incremento de las propiedades plásticas de las mismas. Conocido de antiguo este hecho, aunque ignorado su verdadero mecanismo, siempre ha sido una práctica común desde la época brillante de la cerámica oriental, la de dejar en reposo en pudrideros, durante varios años, las arcillas sometidas a un proceso de maduración. La eficacia de esta lenta espera se ha podido comprobar comparando la plasticidad desarrollada en una arcilla natural con la de una arcilla esterilizada. En general, cualquier adición que se haga a las arcillas durante ese largo proceso para activar la acción bacteriana, redundará en beneficio de la plasticidad. El ácido tánico mejora la resistencia a la rotura, aunque reduce el margen de plasticidad. La acción de la maduración depende de los tipos de arcilla; así, mientras la plasticidad de las pastas con caolín de Zettlitz sólo aumenta en un 50 %, en algunas arcillas se consigue mejorar hasta en un 200 %.

También ejerce una influencia beneficiosa en la plasticidad la flora de las algas que se desarrollan. Todos los procesos vitales de estos microorganismos, aparte de los residuos orgánicos que acumulan y que actúan como coloides dispersantes, ejercen una acción indirecta alterando la composición y la proporción del aire ocluído en los poros de la masa.

i) *Influencia del aire ocluído.*—El aire ocluído en la masa de arcilla, que ya desempeñó un papel importante, primero como agente químico oxidante, durante

los largos procesos de meteorización y formación de la arcilla y después, a lo largo de su estancia en el pudridero, favoreciendo y manteniendo el desarrollo de la flora bacteriana vuelve a manifestar su influencia a la hora de trabajar y moldear la arcilla. Su presencia, que entonces fue favorable, ahora resulta perjudicial para la plasticidad, ya que las pequeñas oclusiones gaseosas disminuyen la cohesión de las partículas. Este aire y el que además se introducirá mecánicamente durante la preparación de la pasta, se convertirá a menudo en un molesto enemigo para el ceramista, formando burbujas y ampollas en el material y siendo causa frecuente de laminaciones y deformaciones. Lo mejor para eliminar este aire es hacer pasar la pasta por una amasadora de vacío. La perjudicial influencia del aire en la propiedad que nos ocupa la puso de manifiesto Spurrier tomando un poco de arcilla húmeda en un desecador y haciendo el vacío. A continuación dejó entrar de nuevo bruscamente aire, que produjo un aplastamiento de la masa de arcilla reduciendo notablemente su contenido de poros y mejorando su plasticidad.

En la práctica también se ha podido comprobar que, eliminando el aire de la arcilla al entrar ésta en una máquina de extrusión, se disminuyen las deformaciones, al mismo tiempo que mejora la resistencia mecánica. Otra importante aplicación práctica de esta observación es la de las prensas de vacío.

La cantidad de aire que contiene una arcilla puede medirse mediante la botella graduada ideada por Spurrier o también colocando la muestra de arcilla en un vaso con agua bajo un embudo invertido, conectado a una bureta de gases. Al calentar el agua, la arcilla se desmorona y las burbujas de aire que escapan se recogen en la bureta.

j) *Influencia de la temperatura.*—El tratamiento térmico previo a que se haya podido someter una arcilla es otra causa modificadora de su plasticidad. A medida que se deja evaporar el agua que humedece una masa, plástica en su grado máximo, el valor de la plasticidad va decreciendo hasta anularse cuando está completamente seca. Si se vuelve a humedecer la arcilla, recupera su plasticidad de una manera reversible. Sin embargo, cuando la desecación de la pasta arcillosa se hace en caliente a baja temperatura, la arcilla, al ser humedecida de nuevo, no vuelve a alcanzar la misma plasticidad que inicialmente tenía, sino que ésta es ahora algo menor. La causa de esto puede ser la transformación de la materia coloidal en materia inerte o una descomposición parcial de la arcilla. Rielke opina, sin embargo, que la disminución de la plasticidad nada tiene que ver con la pérdida de agua física de la arcilla. En general la plasticidad se pierde total y definitivamente cuando la arcilla se calienta entre 500° y 750°C, lo que coincide, según ha

demostrado Salmang y Rittgen, con la alteración de la estructura reticular de la arcilla.

IV. Medida de la plasticidad.

Por la misma razón que no existe una definición precisa del término plasticidad, debido a la complejidad de factores que intervienen en esta propiedad, tampoco resulta enteramente representativo ninguno de los métodos propuestos para determinarla.

Algunos autores consideran la rigidez o cohesión del material seco como una cualidad inherente a todo material plástico. Este es un error que proviene de confundir la cohesión con la plasticidad. Si bien ambas propiedades son deseables en una arcilla desde el punto de vista de sus aplicaciones industriales y con frecuencia existe una cierta proporcionalidad entre la resistencia a la tensión en una arcilla seca y su plasticidad, la medida de aquella resulta insuficiente y escasamente representativa. La plasticidad deberá medirse sólo por medio de alguna de las propiedades que tenga la masa plástica.

Si la plasticidad puede definirse correctamente en términos de deformabilidad, los únicos métodos racionales para medirla serán los de naturaleza mecánica en los que se determina la presión necesaria para modificar la forma de la masa plástica en una cierta magnitud y en un período de tiempo determinado. Todos los demás procedimientos en los que no intervengan estas tres variables, presión aplicada, deformación producida y duración del esfuerzo, pueden ser convenientes para determinadas aplicaciones, pero no suministran una verdadera medida de la plasticidad.

En cualquiera de los métodos de medida hay que distinguir siempre la plasticidad potencial, es decir, la plasticidad que puede llegar a alcanzar el material después del tratamiento más favorable para desarrollar su plasticidad máxima y la plasticidad actual que es la que posee el material cuando todavía no se le ha añadido agua ni ningún otro material. Así, una arcilla seca puede carecer de plasticidad actual teniendo una plasticidad potencial muy elevada.

Los diversos métodos propuestos para la medida de la plasticidad pueden dividirse en dos grupos. En el primero se incluyen los que determinan una propiedad que esté relacionada indirectamente con la plasticidad; y en el segundo, los que buscan una aproximación más directa.

probeta por una barra rígida deslizable verticalmente, sobre cuyo extremo superior se pueden colocar cargas variables. El acortamiento sufrido por la probeta después de actuar la carga sobre el extremo durante treinta segundos, se toma como medida de la plasticidad.

Parecido al anterior, pero más difundido, es el método de Pfefferkorn en el que se determina y se representa gráficamente la altura de un cilindro de arcilla después de su compresión por un peso conocido que se deja caer desde una altura determinada.

Bowmaker modificó ligeramente este método representando gráficamente las alturas de compresión de la probeta de ensayo frente al tanto por ciento de agua añadida a la arcilla seca. Los resultados obtenidos son líneas rectas que difieren en sus pendientes y en sus ordenadas en el origen. En la figura 8 se representa

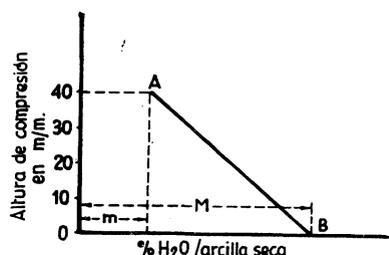


FIG. 8.—Representación gráfica de Bowmaker.

un gráfico ideal. El punto A representa el contenido máximo “m” gramos de agua por 100 gramos de arcilla seca de una pasta que teóricamente no sufre deformación en las condiciones del ensayo. B es el punto teórico en el cual la masa sufre una deformación del 100 por 100 para un contenido de M gramos de agua por cada 100 gramos de material seco. La plasticidad se calcula por la fórmula $P = M - m$.

Los resultados basados en las medidas de compresibilidad encuentran cada vez más difusión, pues estas determinaciones proporcionan un medio rápido y seguro para conocer la consistencia de las pastas de arcilla.

El término laborabilidad o moldeabilidad representa la aptitud de una pasta plástica para ser deformada por acción de una presión y es una indicación de las propiedades plásticas que puede manifestar al ser moldeada. La A. S. T. M. para medir este coeficiente, ha normalizado un método (A. S. T. M.-C. 181-47) que en esencia consiste en someter una probeta de dimensiones determinadas a una compresión. El tanto por ciento de su acortamiento mide el índice de laborabilidad. Este procedimiento es más rápido y preciso que los basados en el contenido en agua.

A continuación se señalan los límites entre los que se debe mantener el índice de laborabilidad según los procedimientos de moldeo que se utilicen.

Moldeo a mano	35-50
Extrusión	28-34
Ladrillos prensados a máquina	15-25
Prensado en seco	5-8

5. Métodos de cizalladura y torsión.—Diversos autores proponen este método en el que se somete la arcilla a fuerzas de torsión. Representando esfuerzos de torsión en ordenadas, y deformaciones angulares en abscisas, se obtiene una curva cuya ordenada máxima es el valor del coeficiente de rigidez estática, mientras que la longitud de la curva hasta que empieza a descender da una medida del valor de la deformación que la muestra puede sufrir sin romperse.

El plasticímetro de Norton (figura 9) se basa en este procedimiento para medir la plasticidad. La probeta constituida por una barra de 10×10×60 mm. se fija por sus extremos a un marco desplazable horizontalmente a una velocidad

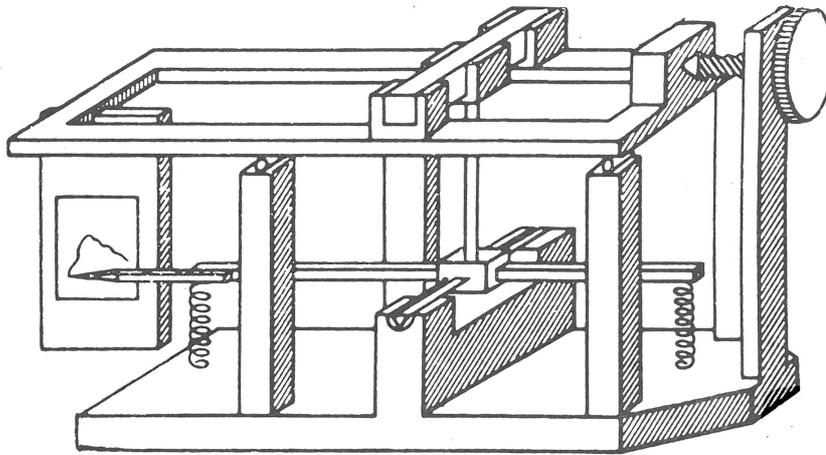


FIG. 9.—*Plasticímetro de Norton* (C. A. Jouenne: "Ceramique Générale. Notions de Physico-Chimie", Edit. Gauthier-Villars, París 1960).

constante por medio de un tornillo de precisión conectado a un motor síncrono por un sistema regular de engranajes. El marco móvil lleva solidario un cuadro que soporta un vidrio ahumado. El centro de la probeta está conectado por un vástago a un fiel que bascula alrededor sobre una cuchilla. La extremidad del fiel lleva un estilete inscriptor que apoya suavemente sobre el vidrio ahumado,

en el que se registra gráficamente la curva del comportamiento de la muestra a lo largo del ensayo. Verticalmente se obtiene el esfuerzo a que se somete la muestra medido por resortes calibrados, y horizontalmente, la deformación sufrida. En la figura 10 se representa el diferente comportamiento de una masa plástica para distintos contenidos de agua. De estas curvas se deducen tres características importantes:

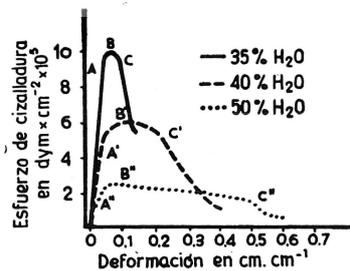


FIG. 10.—Diagrama esfuerzo-deformación de una arcilla plástica, según F. H. Norton.

El punto A da el coeficiente de rigidez estática de la arcilla o límite del comportamiento elástico.

B es la resistencia máxima de la arcilla.

C es el punto de rotura del cuerpo.

La región comprendida entre A y C es donde está la arcilla sometida a un

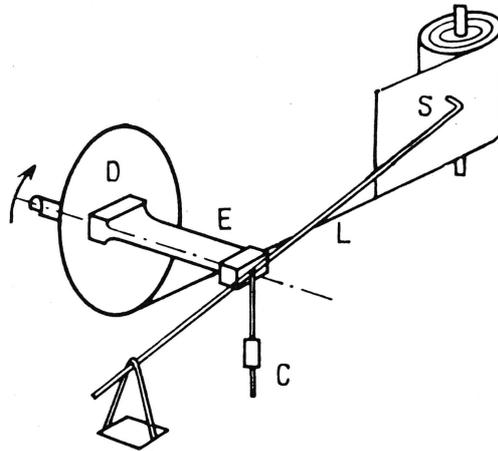


FIG. 11.—Plasticómetro de Detaille (C. A. Jouenne: "Ceramique Générale. Notions de Physico-Chimie", Edit. Gauthier-Villars, París 1960).

flujo plástico y representa el grado de deformación que puede aguantar el cuerpo sin romperse. Norton considera que tanto el punto de rigidez estática (que de-

termina la fuerza que la pasta puede resistir sin deformarse) como la máxima extensión de deformación, tendrán valores máximos en una masa altamente plástica.

Otro plasticímetro basado en el mismo principio es el de Detaille (figura 11). Permite registrar la curva esfuerzo-deformación de una probeta bajo una fuerza de torsión producida en la muestra por efecto de una tracción y de una compresión, por consiguiente, una fuerza de cizalladura. Consta de un disco motor D que, mediante un reductor de velocidades, permite ejercer tracciones variables sobre la probeta E. Esta, por su otro extremo, va solidaria a un dinamómetro que lleva un fiel sobre el cual se pueden colocar pesos variables. Por el otro lado el fiel L está unido a un brazo que lleva en su extremo una aguja inscriptora S. C es un contrapeso. La aguja registra sobre el gráfico el esfuerzo, mientras que la deformación viene dada por el desplazamiento del papel al desenrollarse del cilindro registrador por acción de un cable enrollado sobre una polea coaxial con la cabeza de la probeta que sufre el esfuerzo de deformación.

En el plasticímetro eléctrico de Geuz y Tan Tjong-Kie (figura 12) la fuerza de

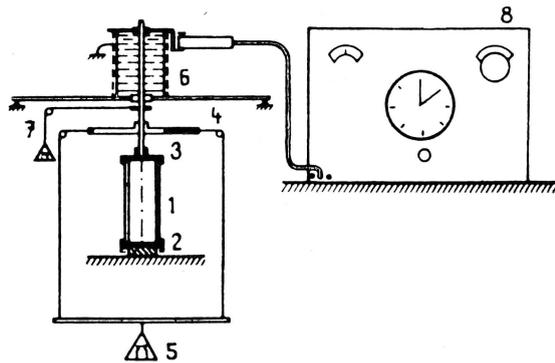


FIG. 12.—*Plasticímetro de Geuz y Tan Tjong-Kie*
(C. A. Jounne: "Ceramique Générale. Notions de
Physico-Chimie", Edit. Gauthier-Villars, París 1960).

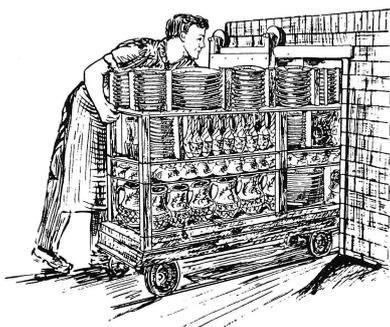
cizalladura se mide mediante una cabeza micrométrica. En ensayos rápidos se puede determinar eléctricamente por medio de un condensador variable conectado a un aparato de medida de capacidades. Cada muestra de arcilla se somete a un momento de torsión constante durante un tiempo t , transcurrido el cual se suprime la carga. El plasticímetro en cuestión consta de los siguientes elementos numerados en la figura:

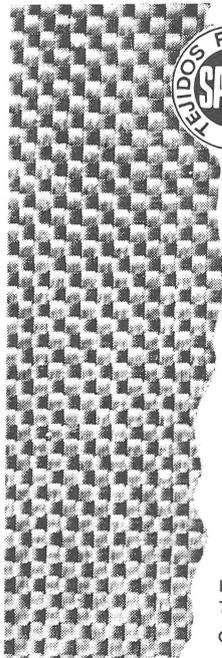
1, probeta; 2, disco inferior fijo; 3, disco superior móvil; 4, disco de torsión; 5, platillo de carga; 6, condensador variable; 7, contrapeso; 8, aparato de medida de capacidades.

Se han propuesto otros muchos métodos para medir la plasticidad, pero ninguno absolutamente riguroso. Hay que insistir en que una sólo técnica experimental es insuficiente para proporcionar una información completa acerca de esta compleja propiedad de las arcillas. Sin embargo, como rara vez se requiere un conocimiento demasiado completo a lo largo de todo el margen de comportamiento plástico de un material, se deberá elegir en cada caso el método de medida más adecuado a las necesidades. La determinación de alguna de las propiedades que acompañan a la plasticidad suele bastar en la mayoría de los trabajos de rutina.

BIBLIOGRAFIA

- JOUENNE, C. A., *Ceramique Générale. Notions de Physico-Chimie.* (Edit. Gautier-Villars, París, 1960.)
- NORTON, F. H., *Elements of Ceramics.* (Edit. Addison-Wesley Press Inc., Mass. 1952.)
- PALACIOS, J., *Física General.* (Edit. Espasa-Calpe, S. A., Madrid, 1949.)
- ROSENTHAL, E., *Alfarería y Cerámica.* (Edit. Reverté, S. A., Barcelona, 1958.)
- SALMANG, H., *Los fundamentos físicos y químicos de la Cerámica.* (Edit. Reverté, S. A., Barcelona, 1955.)
- SEARLE, A. B., y GRIMSHAW, R. W., *The Chemistry and Physics of Clays.* (Edit. Ernest Benn, Ltd. Londres, 1959.)





TEJIDOS DE FIBRAS SINTETICAS

tipos especialmente estudiados para

FILTRACION TAMICES

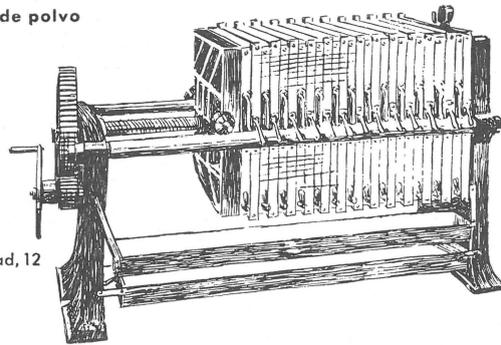
de PASTAS CERAMICAS, CAOLINES, COLORES, TIERRAS, ACEITES, PRODUCTOS QUIMICOS, ETC

en monofilamento Poliamídico y Acrílico, para toda clase de usos industriales.

MANGAS

para la captación de polvo

*Imputrescibles
Inoxidables
No envejecen*



Agente General:
JOSE A. RUIBAL

Barcelona-7 - Ronda Universidad, 12
Tel. 231 11 95
Conferencias: Teléf 232 43 21



OXIDO DE ESTAÑO

SOMETOX, S. A.

GINGELOM (BELGICA)

PUREZA GARANTIZADA 99,9%, EXTRA LIGERO, BLANCO NIEVE
MAXIMO PODER OPACIFICANTE



REPRESENTANTE EN ESPAÑA:

A. BALADA AIGUASANOSA

Agente Comercial Colegiado
BARCELONA - 11

Avda. de Roma, 125 - 1.º 2.º

Teléfs. 239 51 79 - 253 13 94

TELEGRAMAS: **ABALAIGUA**

