

Plasticidad. Método de Pfefferkorn.

¿Qué es la plasticidad?

La **plasticidad** puede definirse como “la capacidad de un material para ser deformado sin ruptura durante la aplicación de una fuerza externa que exceda de un valor crítico, y conservar la deformación tras el cese de la fuerza deformadora”. De acuerdo con este concepto de plasticidad, el material únicamente sufrirá la deformación cuando se supere este esfuerzo mínimo o umbral que se denomina “esfuerzo crítico de fluencia”

El **comportamiento plástico de una arcilla o pasta** puede resumirse del siguiente modo ⁽¹⁾: a medida que vamos añadiendo agua (y amasando) a una arcilla o pasta en polvo, llega un momento en que se hace moldeable, es decir, que al aplicar una fuerza a la pasta aparece una deformación que permanece después de ceder la fuerza que la produjo. Pero este comportamiento plástico no se presenta en cualquier estado de la arcilla; para que ésta pueda considerarse deformable su contenido en agua debe estar comprendido entre ciertos valores de forma que no sea excesivamente rígida (arcilla seca), o que presente las propiedades de un líquido viscoso (barbotina). Estos puntos reciben el nombre de **límites de Atterberg** y permiten caracterizar la plasticidad de arcillas. Efectivamente, al añadir progresivamente pequeñas cantidades de agua a una masa en polvo de arcilla seca, va cambiando de aspecto y propiedades, pasando del estado seco (sólido) al de barbotina. Se intuye fácilmente que existirán una serie de puntos o contenidos de agua en que la arcilla pasa de un estado a otro como se muestra en la figura 1:



Figura 1. Límites de Atterberg.
Imagen: Ana Monferrer.

- El **límite plástico (LP)** es la mínima cantidad de agua que permite el moldeo de una arcilla o de una pasta. Por debajo de esta cantidad consideramos que el material está en estado semiseco.
- El **límite líquido (LL)** es la máxima cantidad de agua que permite el moldeo de una arcilla o de una pasta. Por encima de este valor consideramos que el material es una barbotina viscosa.

Una evaluación de la plasticidad del material nos la puede dar la **diferencia entre estos dos contenidos de humedad o rango de humedades entre las cuales la arcilla o la pasta es moldeable**. Este rango se denomina “**Índice de plasticidad**” (IP).

- El “**índice de plasticidad**” (IP) se define como la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP). Da una medida del comportamiento plástico de un material.

$$IP = LL - LP$$

Métodos de medida de la plasticidad.

Existen dos tipos de métodos para la medida de la plasticidad ⁽¹⁾⁽²⁾:

- **Métodos indirectos:** que no evalúan directamente el comportamiento plástico, sino alguna propiedad relacionada con el mismo (contenido en humedad, módulo de ruptura...). Son métodos ampliamente utilizados en controles rutinarios y en la formulación de pastas debido al reducido coste de los equipos necesarios y a la sencillez de los procedimientos operativos. Algunos de los métodos indirectos empleados son:

1. Método de Atterberg.
2. Método de Pfefferkorn.
3. Determinación de la resistencia mecánica.
4. Determinación de la fuerza de indentación.

- **Métodos directos:** son los que definen de manera más aproximada el comportamiento plástico del material, ya que determinan el efecto que produce el contenido en humedad en la relación entre la fuerza aplicada y la deformación producida. Uno de los métodos directos más sencillos y utilizados es el método de Moore, aunque debido principalmente al elevado coste de los equipos empleados está restringido a materiales de alto valor añadido y a la investigación.

Fundamento teórico de la medida del índice de plasticidad por el método de Pfefferkorn.

Mediante este método la plasticidad de un material está relacionada con la compresión que experimenta una muestra cilíndrica, de dimensiones conocidas, con diferentes contenidos de agua, cuando se la golpea con un martillo pilón, de un peso determinado y que cae por su propio peso, recorriendo una trayectoria fija ⁽³⁾.

El coeficiente de plasticidad, determinado por este método, se define como el porcentaje de contenido en agua, en el cual la muestra experimenta una contracción del 30% de su altura inicial cuando recibe un impacto de un martillo pilón de 1192 g desde una altura de 146 mm ⁽⁴⁾. Así pues, si se define un coeficiente r , tal que

$$r = \frac{H_0}{H_i}$$

donde:

- r : factor de proporcionalidad.
- h_0 : altura de la probeta antes de la deformación (mm)
- h_i : altura de la probeta deformada (mm)

El coeficiente de plasticidad será el contenido de humedad que hace que el valor de r sea igual a 3,3.

Procedimiento operativo.

El plasticímetro de Pfefferkorn (figura 2) consiste en un soporte con una guía por donde se desliza un martinete o martillo pilón con un disco de latón en su extremo inferior (a). En la placa base tiene otra placa de latón (b). El peso total del martillo es de 1192 gramos y la distancia entre los dos discos es de 146 mm. Las probetas cilíndricas han que tener siempre las mismas dimensiones y se preparan mediante un molde cilíndrico de 33 mm de diámetro y 40 mm de altura.

Se preparan muestras de masa plástica amasada a diferentes humedades y se mantienen durante 24 horas cerradas herméticamente en bolsas de plástico. Con ayuda de un molde metálico (figura 3) se elabora una muestra cilíndrica para cada humedad (se unta con un poco de aceite el molde cilíndrico por dentro y se llena con la muestra a ensayar, procurando que no queden atrapadas burbujas de aire, y se alisa la superficie con una espátula). Se deposita la muestra en la vertical del martillo y se deja caer éste. Tras el impacto se mide la altura de la probeta deformada (figura 4) y se toma una muestra de unos 20 g para determinar su humedad por secado en estufa.

Se repite el procedimiento hasta encontrar al menos 2 valores superiores a $r = 0,33$ y dos valores inferiores. Finalmente se representan los valores de r en ordenadas frente a los de H (%) en abscisas. Se traza la curva correspondiente (ver ejemplo) y el punto de intersección del valor de la ordenada $r = 3,3$ con dicha curva da un valor de humedad correspondiente al índice de plasticidad (IP) de la pasta estudiada.



Figura 2. Plasticímetro de Pfefferkorn.
Fotografía: Maite Larena.



Figura 3. Molde para plasticímetro de Pfefferkorn.
Fotografía: Maite Larena.

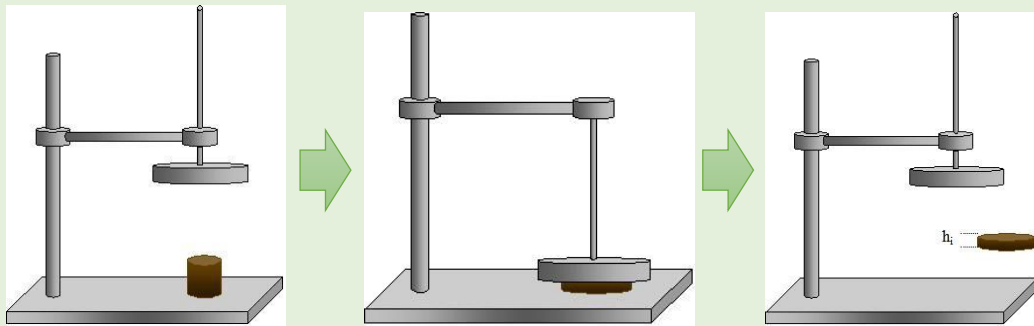


Figura 4. Ensayo de plasticidad con plasticímetro de Pfefferkorn.

Ejemplo

A título orientativo, en la figura 5 se muestra una captura de pantalla de una hoja Excel con los cálculos relativos a un ensayo de una pasta empleada en la fabricación de baldosas cerámicas

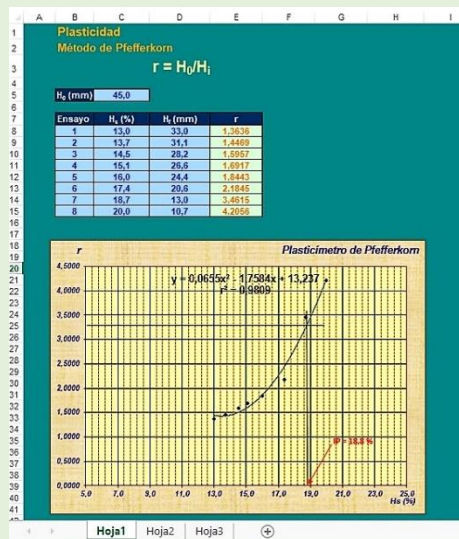


Figura 5. Cálculo del índice de plasticidad. Método de Pfefferkorn.
Imagen: Rafael Galindo.

Bibliografía

- (1) GIPPINI, E. *"Pastas cerámicas"* Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. Pgs 45 a 64. Madrid, 1979.
- (2) GINÉS, F. et al. *"Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad"* Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, 36 [1] Pgs 25 a 30 (1997). Disponible en <http://boletines.secv.es/upload/199736025.pdf> [Consulta realizada 18/03/2022].
- (3) QUEROL VILLALBA, A.M. *"Aplicación del método de Pfefferkorn al control de la plasticidad en pastas de extrusión"*. Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio. 31.I. 33-38. (1992). Disponible en <http://boletines.secv.es/upload/198322285.pdf?msckid=9d5e2958a96111ecaed145f9404da7f7> [Consulta realizada 21/03/2022]
- (4) AMORÓS, J.L. et al. *"Manual para el control de calidad de materias primas arcillosas"* Pgs 115 a 119. ITC. Castellón. (1998).