

## Diagramas de cocción

### ¿Qué son los diagramas de cocción?

Los diagramas de cocción son representaciones gráficas que muestran la evolución de propiedades físicas de los productos cerámicos, generalmente absorción de agua (**Aa**) o contracción lineal (**CL**), con la temperatura (**T**) <sup>(1)</sup>.

Dado que tanto la contracción lineal como la absorción de agua dependen también de la densidad aparente en seco, es decir de la porosidad en seco de un material compactado, estos diagramas deben representarse para un valor concreto y constante de este parámetro.

Así pues, los **principales diagramas de cocción** son los siguientes:

- Absorción de agua frente a temperatura a densidad aparente en seco constante:  **$Aa = f(T)$**
- Contracción lineal frente a temperatura a densidad aparente en seco constante:  **$CL = f(T)$**

También suele emplearse:

- Contracción lineal frente a densidad aparente en seco ( $\rho_a$ ) a temperatura constante:  **$CL = f(\rho_a)$** .
- Contracción lineal frente a absorción de agua, a densidad aparente constante:  **$CL = f(Aa)$**

### ¿Qué información dan los diagramas de cocción?

Los diagramas de cocción facilitan la siguiente **información**:

- Permiten determinar la **temperatura óptima de cocción** en función de la absorción de agua (o porosidad) que se pretende obtener.
- Permiten conocer la contracción lineal, y por tanto las **dimensiones medias del producto cocido**, a la temperatura de cocción establecida.
- Permiten determinar el **rango de cocción** de un producto, y por tanto establecer las temperaturas máxima y mínima permisibles, conociendo la variación de porosidad y de dimensiones que se deriva.
- Permiten estudiar la **influencia de variables de proceso**, como la granulometría de la pasta o las variables de la operación de conformado en la porosidad y contracción lineal de los productos cocidos.
- Permiten determinar las **variaciones dimensionales** de los productos debidas a variaciones en la temperatura de cocción o en la compacidad.
- Los diagramas de cocción son también una **herramienta eficaz para la formulación de pastas cerámicas**.

### Ejemplos de diagramas de cocción (\*)

#### Baldosas de gres y gres porcelánico.

A partir de unos 1000 °C, la evolución que experimentan tanto la absorción de agua como la contracción lineal en pastas para baldosas de gres y gres porcelánico, está condicionada por una reducción progresiva de la porosidad abierta a medida que va aumentando la contracción lineal. En pastas de gres porcelánico la porosidad abierta llega a anularse casi por completo. Esto se observa claramente en los diagramas de cocción de estas pastas, que llegan prácticamente a una absorción de agua casi nula a su temperatura de cocción (sobre los 1180 a 1200 °C). En cada poro, la fase líquida presente tiende a compactar la pieza favoreciendo así su contracción, pero a medida que va aumentando la temperatura, los gases ocluidos en los poros cerrados dilatan y tienden a aumentar el volumen de estos, y por tanto la porosidad cerrada, disminuyendo la contracción lineal. Las pastas rojas de gres experimentan una rápida formación de fase vítrea.

En la figura 1 se muestra un diagrama de cocción de una pasta para pavimentos de un gres porcelánico, prensado a una densidad aparente en seco de 1,95 g/cc y de un gres rojo con una densidad aparente en seco de 2,027 g/cc.

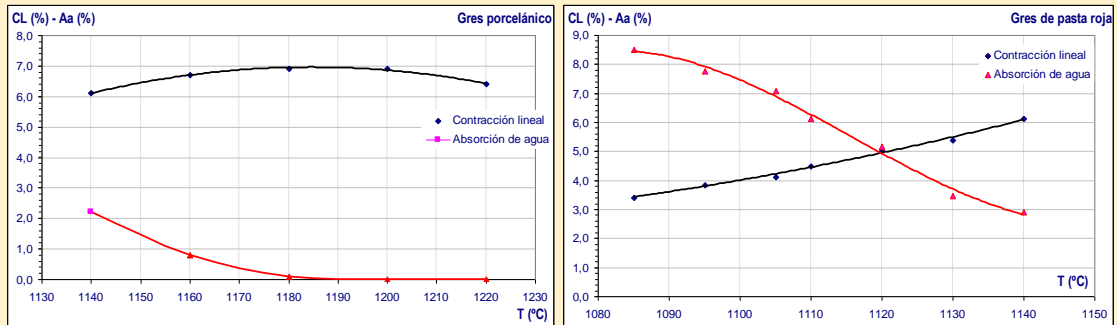


Figura 1. Diagrama de cocción de un gres porcelánico (a) y de un gres de pasta roja (b). Fuente: elaboración propia.

### Influencia de la compacidad en el comportamiento en la cocción.

En general, si en las baldosas obtenidas por prensado se incrementa la presión y/o la humedad de prensado para cualquier tipo de pasta, aumenta la compacidad del soporte crudo y se reduce el volumen y el tamaño de los poros.

En pastas de gres, la reducción de la porosidad en crudo provoca la disminución de la contracción lineal y de las porosidades abierta y cerrada <sup>(2)</sup>. Además, a temperaturas próximas a la gresificación, provoca una disminución de la pendiente de las curvas “contracción lineal – temperatura” y “absorción de agua – temperatura” lo que aumenta el rango de cocción y favorece la estabilidad dimensional de las baldosas y la uniformidad de la porosidad en estas. Incrementos de la compacidad en crudo disminuyen también la temperatura a la que se alcanza la mayor compacidad en cocido. A esta temperatura finaliza el proceso de densificación y se inicia el hinchamiento de la pasta (figura 2).

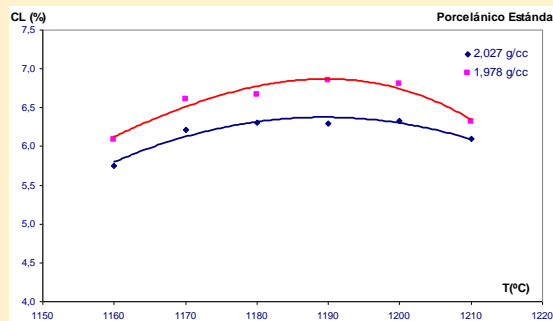


Figura 2. Diagrama contracción lineal – temperatura a diferentes densidades aparentes para una pasta de gres porcelánico. Fuente: elaboración propia.

A compacidad constante, la relación entre la contracción lineal y la absorción de agua puede ajustarse aceptablemente a líneas rectas en los intervalos de trabajo de estas variables (figura 3). A medida que disminuye la porosidad abierta de las probetas aumenta su contracción lineal. Por otra parte, se observa que a medida que aumenta la densidad aparente de las piezas crudas, disminuye la contracción lineal, como ya sabíamos, lo que implica que la contracción lineal que experimenta una pieza para alcanzar una determinada porosidad en cocido, aumenta a medida que disminuye su densidad aparente en seco.

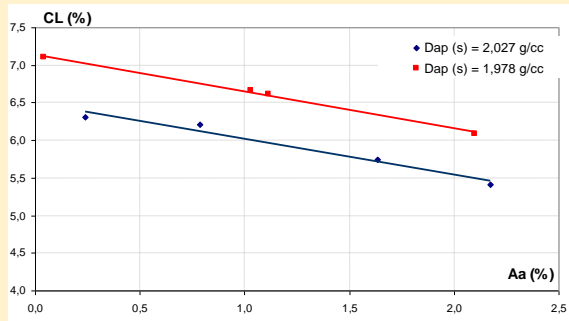


Figura 3. Diagrama contracción lineal – absorción de agua a diferentes densidades aparentes para una pasta de gres porcelánico. Fuente: elaboración propia.

En el prensado de pastas de gres y de gres porcelánico, es conveniente obtener altas densidades aparentes en crudo, en la medida que la aparición de corazón negro lo permita, ya que así se alcanzan temperaturas de gresificación más bajas, con el consiguiente ahorro energético, y se reducen los defectos asociados a las variaciones dimensionales de las baldosas, como los descuadres, lunetas y el número de calibres producidos.

Densidades aparentes en crudo excesivamente bajas provocan una mayor tendencia a sufrir deformaciones piropásticas, debido a que para obtener las porosidades exigidas al producto partiendo de bajas compacidades en crudo, debe elevarse la temperatura de cocción, con lo que disminuye la viscosidad de la fase vítrea formada. Además resulta imposible eliminar en la cocción los poros de gran tamaño que se han formado a causa de un prensado a bajas presiones y/o humedades.

A temperatura de cocción constante, la contracción lineal (CL) depende de la densidad aparente en seco ( $\rho_a$ ); de forma que disminuye a medida que lo hace esta. Esta relación puede ajustarse satisfactoriamente a una recta en el intervalo de trabajo de las densidades aparentes (figura 4), de forma que:

$$CL = k_1 - k_2 \cdot \rho_a$$

En esta ecuación,  $k_1$  y  $k_2$  son los dos parámetros de ajuste de la recta y. En la figura 4 se muestra la relación entre la densidad aparente en seco y la contracción lineal para algunas pastas industriales de gres porcelánico empleadas en el sector cerámico español, y en la tabla se muestran las ecuaciones de ajuste con los correspondientes coeficientes de correlación.

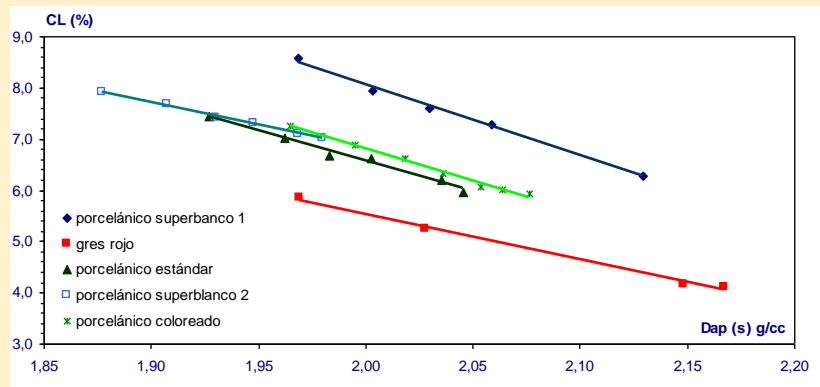


Figura 4. Relación entre contracción lineal y densidad aparente en seco de algunas pastas empleadas en la fabricación de gres porcelánico. Fuente: elaboración propia.

Composición	Tª cocción (°C)	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>
Gres porcelánico "superblanco -1".	1200	35,643	13,792	0,9937
Gres porcelánico "superblanco" -2.	1200	24,257	8,705	0,9958
Gres porcelánico estándar -1.	1180	30,222	11,886	0,9830
Gres porcelánico coloreado.	1190	32,015	12,660	0,9898
Gres pasta roja.	1130	23,252	8,359	0,9946

(\*) Texto reproducido del libro: GALINDO, R. "Prensas, moldes y prensado" (2ª Ed). Pgs. 140-143. Macer. Castelló, 2018.

#### ¿Quieres saber más?

##### Contracción lineal, absorción de agua, densidad aparente y porosidad (\*).

Son características físicas que se miden en los productos cerámicos cocidos. La absorción de agua ( $A_a$ ) está relacionada con la porosidad abierta y, a su vez, la densidad aparente ( $\rho_a$ ) con la porosidad total ( $\epsilon$ ), por lo que a partir de la medida de ambos es posible determinar el valor de la porosidad cerrada ( $\epsilon_c$ ). Por otra parte, si se conoce la contracción lineal (CL) a una determinada temperatura (T), es posible predecir las dimensiones del producto tras la cocción y viceversa

### **Contracción lineal.**

La contracción lineal (**CL**) se define como la relación, expresada en %, entre la contracción experimentada por el producto (o por una probeta) tras la cocción respecto a su longitud mayor (**L<sub>0</sub>**).

$$CL = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100$$

siendo **L** la longitud mayor tomada como referencia, tras la cocción.

### **Absorción de agua.**

Por su parte, la absorción de agua (**Aa**) mide indirectamente la porosidad abierta, ya que relaciona el peso del agua contenida en los poros abiertos de la baldosa con su peso seco, expresado en %.

$$Aa = \frac{w_H - w_S}{w_S} \cdot 100$$

donde **w<sub>S</sub>** y **w<sub>H</sub>** son los pesos de la baldosa, o de la probeta, seca e impregnada con agua hasta peso constante, respectivamente.

### **Porosidad total, porosidad abierta y porosidad cerrada.**

La porosidad abierta (**ε<sub>A</sub>**) es la relación entre el volumen de poros abierto (**V<sub>pa</sub>**) y el volumen aparente de la pieza (**V<sub>a</sub>**). Expresada en % queda:

$$\varepsilon_A = \frac{V_{pa}}{V_a} \cdot 100$$

Si la totalidad de los poros abiertos se llenan de agua, su volumen puede calcularse a partir del peso de agua (**w<sub>w</sub>**) contenida en ellos:

$$V_{pa} = \frac{w_w}{\rho_w \cdot V_a}$$

Donde **ρ<sub>w</sub>** es la densidad del agua a la temperatura ambiente (g/cc). Y como:

$$Aa = \frac{w_w}{w_S} \cdot 100$$

y la densidad aparente (**ρ<sub>ac</sub>**) de la pieza cocida es:

$$\rho_{ac} = \frac{w_S}{V_a}$$

Entonces, la absorción de agua está relacionada con la porosidad abierta mediante la ecuación:

$$\varepsilon_A = \frac{\rho_{ac}}{\rho_w} \cdot Aa$$

Por otra parte la porosidad total de la pieza (**ε**) es igual a la suma de la porosidad abierta (**ε<sub>A</sub>**) y de la porosidad cerrada (**ε<sub>C</sub>**).

$$\varepsilon = \varepsilon_A + \varepsilon_C$$

Y dado que la porosidad total, expresada en %, está relacionada con la densidad aparente de la pieza cocida según:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ac}}{\rho_c}\right) \cdot 100$$

En la que **ρ<sub>c</sub>** es la densidad del material cocido (g/cc) y **ρ<sub>ac</sub>** la densidad aparente de la baldosa o de la probeta cocida (g/cc).

Puede expresarse, entonces, la porosidad cerrada (**ε<sub>C</sub>**) como:

$$\frac{\varepsilon_C}{100} = 1 - \left(\frac{1}{\rho_c} + \frac{Aa}{100 \cdot \rho_w}\right) \cdot \rho_{ac}$$

(\*) Texto reproducido del libro: GALINDO, R. "Prensas, moldes y prensado" (2ª Ed). Pgs. 140-143. Macer. Castelló, 2018.

**Bibliografía**

- (1) ESCARDINO A.; AMORÓS J.L.; ENRIQUE J.E. *“El diagrama de gresificación en la fabricación de pavimentos de gres. Cerámica Información”*, nº 84- Pgs. 211-220. 1981.
- (2) AMORÓS, J.L.; et al. *“Pastas de gres de monococción. Influencia de las variables de proceso en la calidad del producto acabado”* Técnica Cerámica, nº 120. Pgs. 1368-1384. 1983