

UTILIZACIÓN DE ARCILLAS TURCAS EN SUSTITUCIÓN DE LAS ARCILLAS UCRANIANAS EN COMPOSICIONES DE GRES PORCELÁNICO

E. Sánchez¹, V. Sanz¹, J. Castellano¹, K. Kayaci², M.U. Taskiran², Ş.C. Genç^{2 3}

**¹Instituto Universitario de Tecnología Cerámica (IUTC), Universitat Jaume I (UJI),
Castelló, España**

²Kaleseramik Çanakkale Kalebodur, Çan, Turquía

³Istanbul Technical University, Facultad de Minas, Estambul, Turquía

RESUMEN

La búsqueda de alternativas a las arcillas ucranianas tipo "ball clay" se ha convertido en una cuestión estratégica en la industria europea de baldosas cerámicas a consecuencia de la falta de suministro por la guerra. En relación con esto, Turquía puede ser un país de interés ya que, además de ser bien conocido por sus minas de feldespatosódico, el país también cuenta con importantes yacimientos de arcillas blancas de diferente plasticidad.

En este artículo se revisan algunos de los yacimientos turcos más importantes donde se localizan arcillas tipo "ball clay" con potencial aplicación en la fabricación de baldosas de gres porcelánico. A este respecto, se han seleccionado arcillas comercialmente disponibles procedentes de yacimientos de diferentes regiones de Turquía, incluidas las zonas de Şile (Estambul), Konya (regiones de Doğanhisar e Ilgın) y Afyon (Alanyurt). Todos estos yacimientos de arcilla son de edad Oligo-Mioceno, Neógeno a Plioceno, los dos primeros depositados en ambientes lacustres continentales, mientras que el último se desarrolló por alteración hidrotermal de las ignimbritas félsicas. Las arcillas se caracterizaron en función de su comportamiento tecnológico, esto es, índice de plasticidad, rechazo tras molienda, compactación en prensado, fundencia (absorción de agua) y blancura del producto cocido. A modo de comparación, también se caracterizaron dos muestras comerciales ucranianas.

Los resultados obtenidos han mostrado que existen arcillas en Turquía con características complementarias que pueden ser utilizadas como componente plástico en composiciones de gres porcelánico. Sin embargo, ninguna de las arcillas por sí sola puede considerarse como una alternativa a las arcillas ucranianas. Así pues, la muy diferente composición mineralógica dio lugar a un amplio intervalo de distribución de tamaños de partícula, índice de plasticidad, densidad aparente y fundencia, de modo que mezclas de arcillas pudieron ser formuladas. Para el diseño de mezclas, se ha propuesto una metodología sencilla basada en la definición del trinomio de propiedades a optimizar, plasticidad/fundencia/blancura, y en la normalización del intervalo de variación más común de estas propiedades. Utilizando esta metodología, se han propuesto dos mezclas, una binaria (con las arcillas de Afyon y Estambul) y otra ternaria (con las tres arcillas turcas), las cuales permiten optimizar en gran medida el trinomio de propiedades y, por tanto, ser utilizadas como sustitutas de las arcillas ucranianas en la mayoría de las composiciones de gres porcelánico.

1 INTRODUCCIÓN

El consumo de arcilla blanca plástica ("ball clay") procedente de Ucrania ha adquirido gran importancia en la industria de baldosas cerámicas en Europa, principalmente en la fabricación de gres porcelánico. El interés en las arcillas ucranianas radica en la correcta combinación de propiedades que poseen, en particular el trinomio blancura-plasticidad-fundencia, el cual es difícil de encontrar en las arcillas tipo "ball clay" de otras procedencias [1]. Estas excelentes propiedades tecnológicas son consecuencia de su composición mineralógica y de su distribución de tamaños de partícula, con un alto contenido en minerales arcillosos de pequeño tamaño (principalmente de naturaleza caolinítica) y una proporción reducida de óxido de hierro. Básicamente, se comercializan dos calidades con contenidos de alúmina del 23-24% y del 27-28% [2], aunque existen muchas variedades, las cuales difieren en plasticidad y cantidad de minerales arcillosos.

Hasta 2022, el consumo de arcillas ucranianas se estimaba en más de 3 Mt anuales, destinadas a los principales productores europeos de baldosas cerámicas, como Italia y España. Sin embargo, el conflicto en Ucrania ha provocado un corte inesperado en el suministro. Por este motivo, la búsqueda de arcillas alternativas a las ucranianas con altos grados de plasticidad y blancura se ha convertido en una cuestión importante para la industria.

A este respecto, cabe señalar que Turquía cuenta con abundantes recursos naturales y su industria minera es uno de los sectores con crecimiento constante. Este país es bien conocido en la industria cerámica como proveedor de materias primas de alta calidad como feldespato sódico o compuestos de boro, sin embargo, es menos conocido por sus yacimientos de arcilla. Por ello, en esta ponencia se describen distintos tipos de arcillas que podrían utilizarse en baldosas de gres porcelánico.

Una de estas arcillas procede de la región de Afyon. Este material se encuentra en los alrededores del pueblo de Alanyurt, en la ciudad de Afyonkarahisar. La arcilla de Afyon es una roca piroclástica de tipo ignimbrita que se encuentra diversamente alterada y en la que existen básicamente 3 tipos de zonas arcillosas: 1- zonas de color blanco: partes illíticas, 2- niveles beige y crema: partes mayoritariamente caoliníticas, 3- zonas verde-pálido o verdes: contienen arcillas esmectíticas [3]. Sin embargo, las diferentes zonas de la arcilla de Afyon no pueden explotarse por separado, debido a la complejidad de los fenómenos de alteración.

Por ello, las empresas suministradoras suelen explotar todos los grupos de arcillas juntos, comercializándolos como un único producto bajo el nombre de arcilla de Afyon.

Otra zona de interés se encuentra en la región de Şile, cerca de Estambul. Se trata de arcillas de la era Oligo-Miocena, sobre rocas volcánicas del Cretácico Superior, así como sobre rocas sedimentarias paleozoicas, una deposición en ambiente lacustre. En general, son arcillas muy plásticas, aunque con proporciones de óxido de hierro que superan lo deseable [4].

Por último, una tercera zona de interés corresponde a la región de Doğanhisar, cerca de Konya. Se trata de yacimientos de la era Neógeno, con deposición dentro de la cuenca controlada por fallas frente al subsuelo metamórfico. Como informaron recientemente Genç et al [5], se trata de minerales arcillosos illítico-caoliníticos, aunque generalmente con baja plasticidad.

En la figura 1 se detalla la ubicación de las tres regiones seleccionadas que aportan "ball clays" en el mapa de Turquía. Existen diferentes estudios sobre el origen y la estructura geológica de estos yacimientos y también trabajos que han abordado, por separado, el posible uso de arcillas procedentes de estas regiones en diferentes tipos de productos cerámicos, entre ellos las baldosas de gres porcelánico [6,7]. Sin embargo, no existe ningún trabajo que haya planteado de forma más ambiciosa la posible sustitución de la arcilla de Ucrania por mezclas de arcillas procedentes de Turquía, algo sin duda motivado por la urgente necesidad de encontrar alternativas a las arcillas ucranianas.

Como consecuencia de lo anterior, el presente trabajo tiene una finalidad múltiple. En primer lugar, se realiza una caracterización físico-química y tecnológica de muestras de arcillas disponibles en el mercado de las tres regiones turcas seleccionadas, comparándolas con las arcillas ucranianas estándar. Tras esta caracterización, se propone una metodología basada en la normalización de propiedades para el trinomio formado por plasticidad/fundencia/blancura, con el objetivo de replicar en la medida de lo posible las características de las arcillas ucranianas. Por último, la validación de algunas mezclas de arcillas diseñadas para la optimización de las propiedades del trinomio se llevará a cabo.

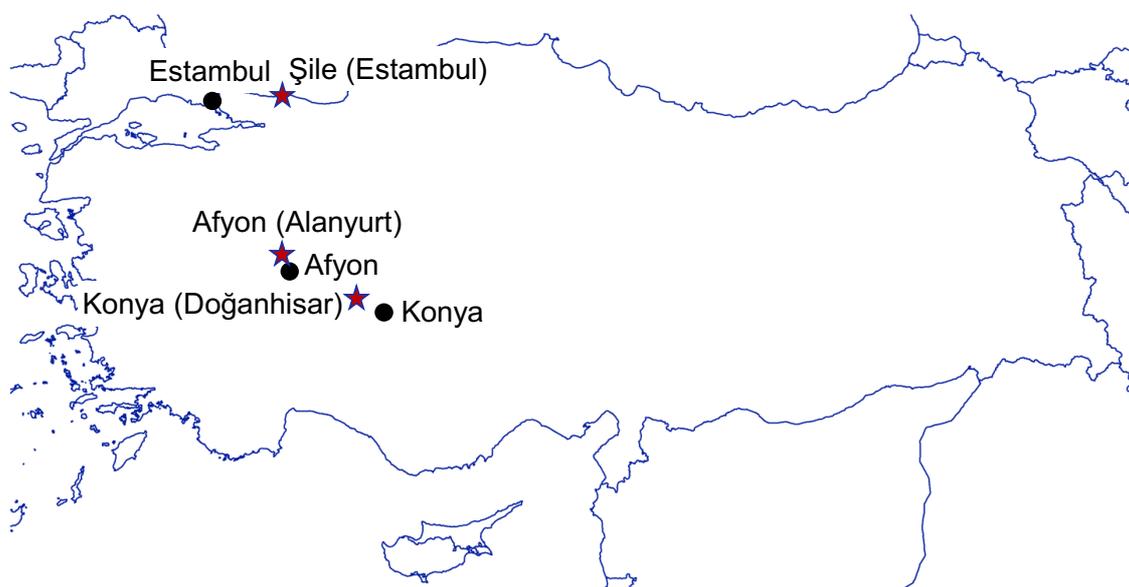


Figura 1. Localización de los tres yacimientos seleccionados de arcilla en Turquía

2 EXPERIMENTAL

2.1 MUESTRAS DE ARCILLA EMPLEADAS

Se utilizaron muestras comerciales de arcillas de Afyon, Estambul y Konya (denominadas por sus siglas en inglés A, I y K respectivamente) suministradas por el departamento de I+D de la empresa Çanakkale Seramik. A modo de comparación, también se suministraron y utilizaron dos muestras de arcillas ucranianas comerciales, denominadas U-25 y U-30 debido a su contenido en alúmina de aproximadamente 25% y 30% respectivamente. La tabla 1 muestra la composición química obtenida por FRX. En cuanto a la composición mineralógica, las principales fases identificadas por DRX para todas las arcillas son caolinita e illita como principales minerales arcillosos junto con otros compuestos no plásticos como el cuarzo y el feldespato, en proporciones variables. En el caso de la arcilla de Afyon, también se identifica un interestratificado de illita-esmectita.

Ref	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Otros	PPC
U-25	60,6	25,5	1,3	0,8	0,2	0,5	0,2	2,0	-	8,9
U-30	55,1	30,4	1,5	0,7	0,3	0,6	0,4	2,1	0,2	8,7
A	78,1	12,8	0,3	0,8	0,8	0,1	0,2	3,7	0,2	3,0
I	54,6	28,6	1,4	2,5	0,1	0,6	-	2,1	0,5	9,6
K	68,8	20,2	1,2	0,7	-	0,3	0,7	2,8	0,4	4,9

Tabla 1. Composición química de las muestras empleadas de arcillas ucranianas y turcas (% en peso)

2.2 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA

Una caracterización tecnológica se ha realizado, consistente en la determinación del índice de plasticidad de Atterberg por método de indentación [8], así como la evaluación del comportamiento de la arcilla en prensado y cocción. Para ello, la muestra de arcilla se sometió a una primera molienda en molino de martillos y a una posterior molienda secundaria por vía húmeda en molino de bolas durante 10 min, determinando el residuo en un tamiz de 63 µm. La suspensión resultante se secó, se desmenuzó y se acondicionó para su posterior prensado mediante pulverización de agua hasta obtener un contenido de humedad del polvo de aproximadamente el 5,5%. El polvo acondicionado se prensó a una presión de 300 kg/cm² para obtener probetas cilíndricas de 4 cm de diámetro y aproximadamente 5 mm de espesor. A continuación, las probetas se secaron y se determinó su densidad aparente según el método de Arquímedes.

Para evaluar el comportamiento en la cocción, las probetas secas se sometieron después a un tratamiento térmico en un horno eléctrico de laboratorio, simulando ciclos de cocción industriales. Así, el ciclo consistió en un calentamiento y enfriamiento rápidos con un tiempo de permanencia a máxima temperatura de 6 minutos, resultando un ciclo de cocción total en torno a 50 minutos. La temperatura máxima de cocción ensayada fue de 1220 °C, la cual es una temperatura ligeramente superior a la utilizada en la industria para la cocción de gres porcelánico.

A continuación, se obtuvo la absorción de agua como estimación del comportamiento fundente de la arcilla a partir de un método de vacío similar al descrito en la norma ISO 10545-3:2018. La blancura de las muestras cocidas se estimó a partir de la coordenada cromática L^* del sistema CieLab, utilizando un espectrofotómetro de luz visible modelo Color-Eye 7000A de Gretag Macbeth.

Por último, se realizaron las mismas determinaciones con las muestras de arcillas ucranianas U-25 y U-30 a efectos comparativos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LAS MUESTRAS SELECCIONADAS

La figura 2 representa, en forma de histogramas, el índice de plasticidad (a partir de los límites de Atterberg), el porcentaje de residuo sobre tamiz de $63\ \mu\text{m}$ (a partir de la molienda habitual en laboratorio) y la densidad aparente en seco de las muestras prensadas (a partir de las condiciones habituales de prensado en laboratorio).

Como puede observarse, todas las arcillas, excepto la arcilla K, presentan valores de plasticidad elevados, en línea con los exhibidos por las muestras de arcillas ucranianas (la muestra U-30 es algo más plástica debido a su mayor contenido en arcilla). A excepción de la arcilla A, estos valores se deben al alto contenido en mineral arcilloso de las muestras, a juzgar por la elevada proporción de alúmina, la baja proporción de sílice y la apreciable pérdida por calcinación (PPC) que muestra su composición química (véase la tabla 1). Sin embargo, la elevada plasticidad de la arcilla A no se corresponde con su composición química, con una proporción notable de sílice y un contenido reducido de alúmina. Esta plasticidad debe atribuirse, en gran medida, a la presencia de minerales arcillosos del grupo de las esmectitas, los cuales presentan una plasticidad extremadamente elevada según se indica en la bibliografía [9].

Por lo demás, el rechazo sobre tamiz de $63\ \mu\text{m}$ se sitúa dentro de los valores típicos para "ball clays" con proporciones variables de cuarzo, ya que, en general, este mineral no presenta un tamaño de partícula excesivamente grande como para que no pueda reducirse durante el proceso habitual de molienda en laboratorio. Sin embargo, de nuevo se observa una anomalía en el caso de la arcilla A, ya que el residuo alcanza un valor cercano al 23%, muy superior al habitual, lo que confirmaría que la arcilla Afyon contiene una gran cantidad de cuarzo con tamaño de partícula bastante grueso [10].

Por último, la figura con la densidad aparente confirma, en general, que los valores más elevados de densidad aparente corresponden a las muestras de arcilla que tienen una mayor proporción de cuarzo libre, como es el caso de las arcillas de Afyon y Konya.

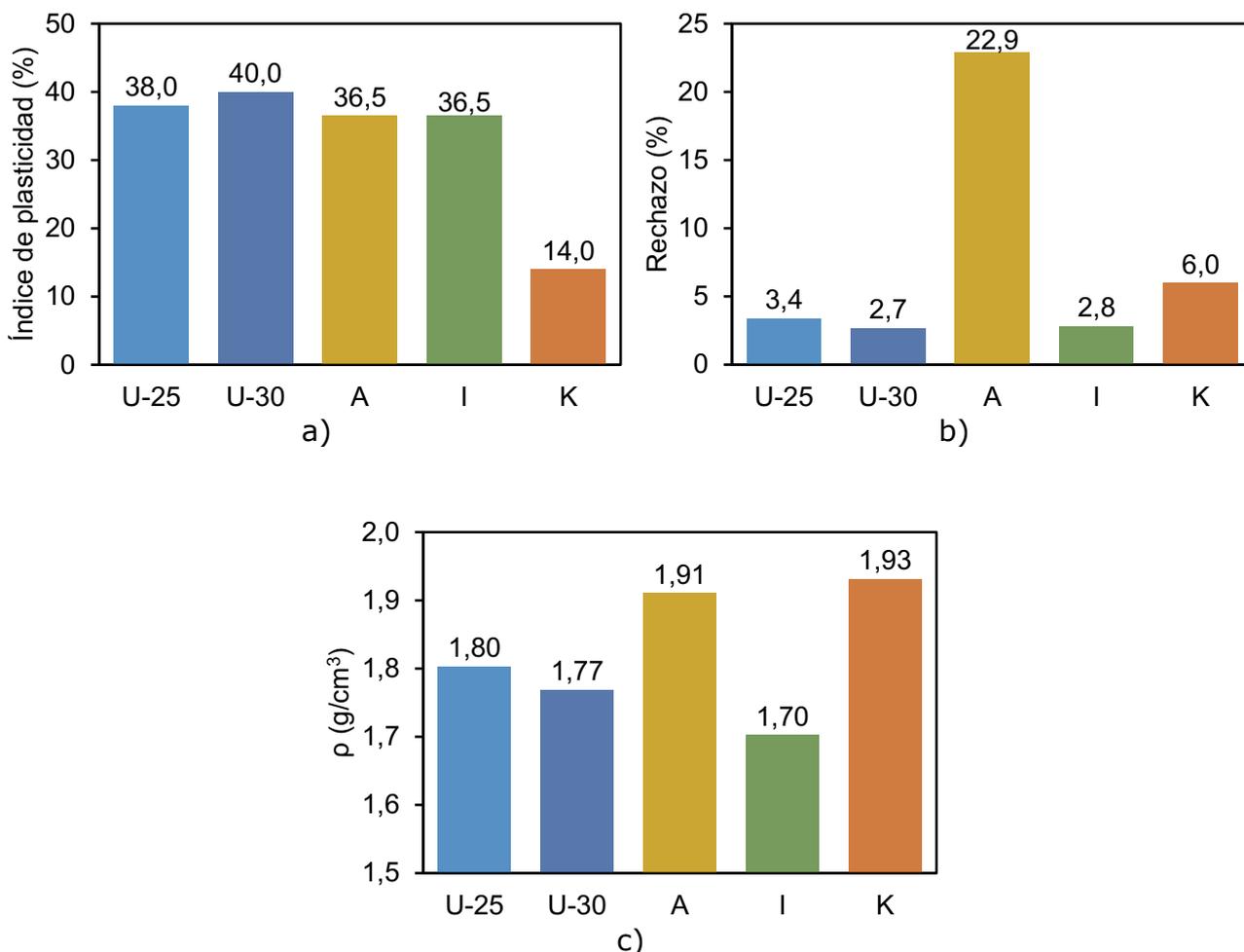


Figura 2. a) Índice de plasticidad, b) Rechazo sobre tamiz de 63 µm y c) Densidad aparente en seco (ρ) de piezas prensadas a partir de las arcillas ucranianas y turcas

En relación con las características de las piezas cocidas, la figura 3 muestra, también en forma de histogramas, la absorción de agua y la blancura (coordinada cromática L*) a una temperatura de cocción de 1220 °C.

En el caso de la absorción de agua, se observan claramente dos grupos de arcillas. Por un lado, las arcillas con mayor contenido en mineral arcilloso, de carácter illítico-caolinítico, como las muestras U-25, U-30 e I, presentan una absorción de agua muy baja, cercana a cero. Esto es consecuencia de la fundencia que confiere la elevada presencia de estos minerales, así como un contenido relativamente bajo de cuarzo libre. En cambio, en otra categoría, se encuentran las arcillas con una mayor cantidad de cuarzo libre, como la A y la K. Entre estas dos arcillas, destaca el alto valor de absorción de agua de la arcilla Afyon, lo que no es sorprendente, habida cuenta de su elevada proporción de cuarzo libre de tamaño grueso.

En cuanto a la blancura, también obtendríamos dos agrupaciones, aunque diferentes del caso anterior. El primer grupo estaría formado por las arcillas A y K con bajo contenido en óxido de hierro, que presentan valores de blancura en línea con los exhibidos por las arcillas ucranianas.

No obstante, hay que señalar que los altos índices de blancura de estas arcillas se han obtenido para valores de absorción de agua (porosidad) considerablemente superiores a los de las arcillas ucranianas, por lo que la comparación no es del todo cierta. En cualquier caso, lo que sí es cierto es la baja aportación en óxido de hierro de estas arcillas en una hipotética composición de gres porcelánico de la que pudieran formar parte. Por el contrario, como cabía esperar, la arcilla de Estambul muestra un valor de blancura muy alejado del grupo descrito anteriormente, debido a la elevada proporción de óxido de hierro en su composición (ver tabla 1).

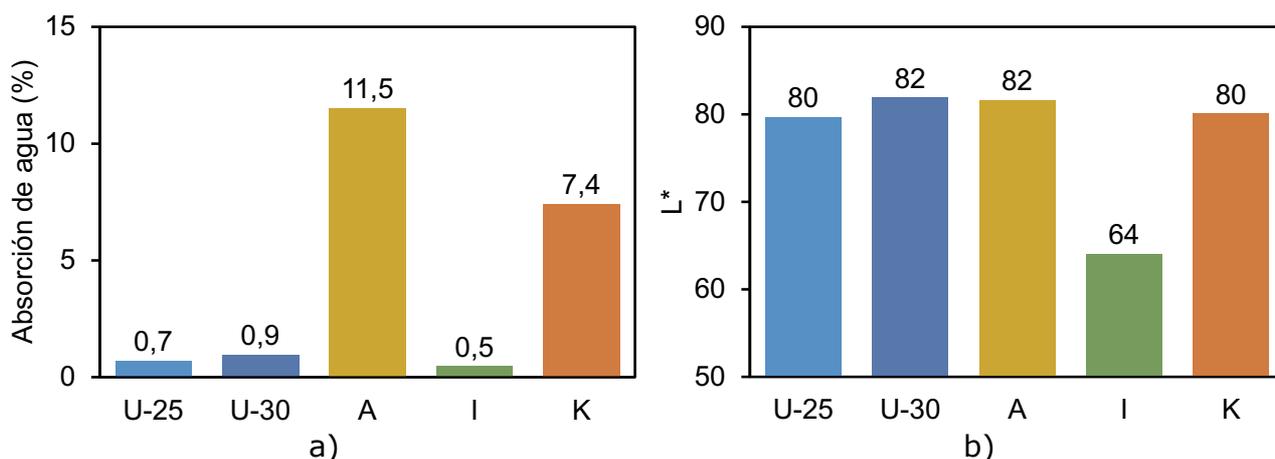


Figura 3. a) Absorción de agua y b) Blancura (coordenada cromática L*) a 1220 °C para las arcillas ucranianas y turcas

3.2 COMPARATIVA CON LAS ARCILLAS UCRANIANAS BASADA EN LA NORMALIZACIÓN DEL TRINOMIO DE PROPIEDADES

Como se ha mencionado en la introducción, el éxito de las arcillas ucranianas en su aplicación en composiciones de gres porcelánico radica, además de en el aspecto económico, en la excelente combinación de lo que podríamos denominar el trinomio de propiedades: plasticidad (P), fundencia (F) y blancura (W). A partir de los resultados descritos en el apartado anterior, se propone una metodología sencilla para evaluar lo cerca o lejos que puede estar una determinada arcilla del óptimo correspondiente a este trinomio, así como, en una segunda fase, las posibles combinaciones entre diferentes muestras de arcilla que podrían permitir acercarse a dicho óptimo. La metodología se basa en las dos consideraciones siguientes:

1.- Definición del trinomio de propiedades que determinan la calidad de las arcillas y su idoneidad para ser utilizadas en la formulación de composiciones de gres porcelánico. Las propiedades a optimizar son plasticidad (determinada a partir de los límites de Atterberg), la fundencia (estimada a partir de la absorción de agua a una temperatura ligeramente superior a la de la práctica industrial, en este caso 1220 °C) y la blancura (determinada a partir de la coordenada cromática L* a 1220 °C).

2.- Normalización del trinomio de propiedades que permite establecer un valor comparativo entre arcillas. Esta normalización se realiza a partir de la experiencia, lo que permite asignar a cada propiedad unos valores mínimo y máximo coherentes con la práctica industrial. Así, para la plasticidad, se asigna un valor a partir de una regresión lineal entre 7% (valor mínimo del índice de plasticidad correspondiente a una arcilla muy poco plástica) y 42% (valor máximo de plasticidad para una arcilla muy plástica).

Para la blancura, se establece un intervalo entre 55 (arcilla de escasa blancura) y 90 (arcilla muy blanca). Para la fundencia, estos límites serían una absorción de agua de 14% (arcilla muy poco fundente) y 0% (arcilla muy fundente). La tabla 2 muestra el intervalo (valores mínimo y máximo) utilizado para la normalización del trinomio de propiedades.

Propiedad	Parámetro	Intervalo
Plasticidad (P)	Índice de plasticidad (%)	7-42
Fundencia (F)	Absorción de agua (%)	0-14
Blancura (W)	Coordenada cromática, L*	55-90

Tabla 2. Parámetros e intervalos de variación para la normalización del trinomio de propiedades

La representación gráfica de la normalización se muestra en la figura 4, la cual simplifica enormemente la comparación entre las distintas muestras de arcilla. Así, la arcilla de Estambul muestra elevada plasticidad y fundencia, pero una blancura limitada, la arcilla de Afyon es muy plástica y blanca pero poco fundente, mientras que la arcilla de Konya destaca básicamente por su elevada blancura. Las arcillas ucranianas sobresalen en las tres propiedades, con una mayor blancura para la arcilla U-30 en relación con la arcilla U-25. Así pues, es claramente visual a la vez que evidente que ninguna de las tres arcillas cumple individualmente la combinación del trinomio de propiedades que permitiría acercarse al óptimo representado por cualquiera de las muestras de arcilla ucraniana. Los mismos resultados muestran la excelente combinación del trinomio de propiedades para las muestras de arcilla ucraniana.

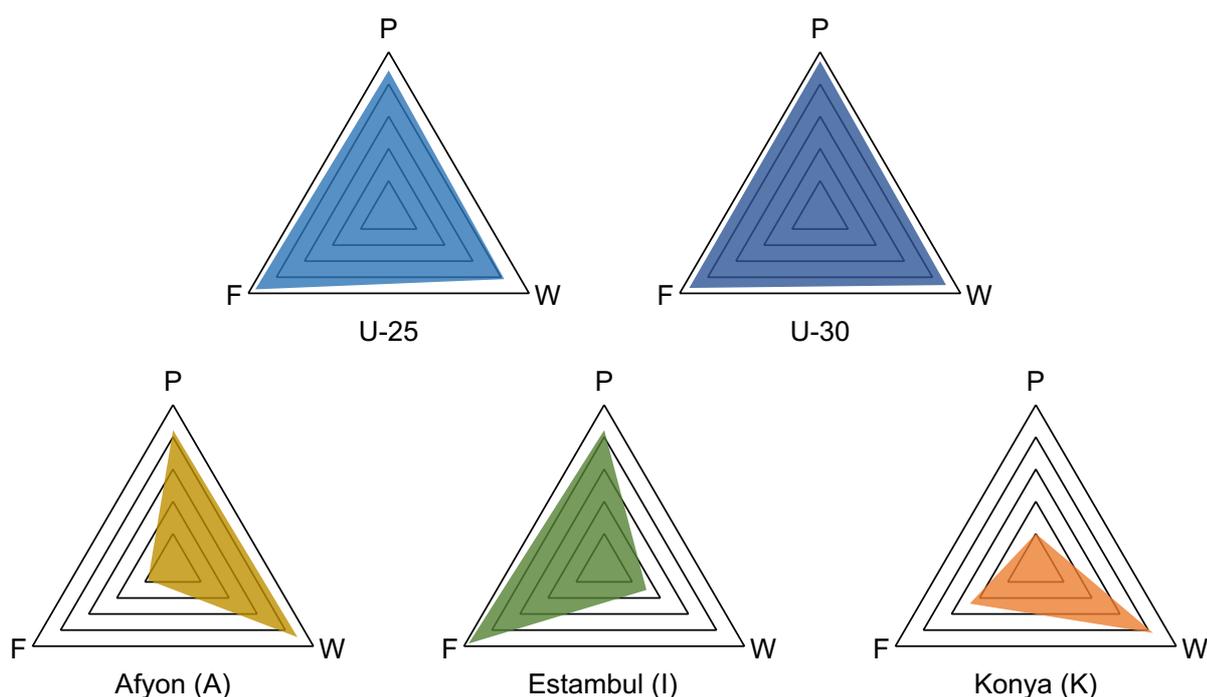


Figura 4. Visualización de las propiedades de las arcillas, en comparación con las arcillas ucranianas, a partir de la normalización del trinomio de propiedades

3.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE ARCILLA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRINOMIO DE PROPIEDADES

La metodología anterior permite, de forma sencilla, diseñar mezclas de arcillas con el objetivo de optimizar las propiedades, aproximándose al óptimo representado por las arcillas ucranianas. Como premisa, se impone que las propiedades de la mezcla son aditivas a partir de las propiedades de cada arcilla individual sin que existan interacciones, lo que se traduce en la siguiente ecuación:

$$P_m = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot P_i)$$

donde:

P_m : propiedad estimada para la mezcla

x_i : fracción másica de cada arcilla en la mezcla

P_i : propiedad de cada arcilla individual

Como criterios de optimización de las mezclas se establecen un índice de plasticidad mínimo de 30% y un valor de blancura (L^*) de al menos 75, permitiendo que la fundencia sea libre pues esta propiedad puede ser fácilmente corregida mediante pequeños ajustes en la formulación como la introducción de feldespatos u otros materiales fundentes. Bajo estas premisas, la tabla 3 muestra el porcentaje óptimo de cada arcilla en la mezcla final. Estos porcentajes aseguran la mínima plasticidad y blancura establecidas y la mayor fundencia de acuerdo con la normalización. Se proponen una combinación binaria, con las arcillas A e I, y una combinación ternaria, con las tres arcillas turcas.

Arcilla	Mezcla binaria (%)	Mezcla ternaria (%)
Afyon (A)	62	36
Estambul (I)	38	35
Konya (K)	-	29

Tabla 3. Diseño de mezclas binarias y ternarias a partir de las arcillas estudiadas para la optimización del trinomio de propiedades

Las mezclas detalladas en la tabla 3 se procesaron siguiendo el procedimiento descrito para las arcillas individuales y los parámetros que intervienen en el trinomio de propiedades se determinaron de la misma manera que para las arcillas. La figura 5 muestra la representación estimada para las propiedades de las mezclas optimizadas (línea discontinua) junto con la representación experimental obtenida a partir de su preparación y caracterización (área coloreada). La figura muestra la buena correlación entre las estimaciones y los resultados experimentales, validando la metodología seguida en el diseño de mezclas. Además, se observa que tanto la mezcla binaria como sobre todo la mezcla ternaria permiten obtener una mejora considerable en el trinomio de propiedades que, aunque no alcanza los valores óptimos de las arcillas ucranianas, podría considerarse una buena alternativa para gran parte de los productos fabricados actualmente a partir de composiciones de gres porcelánico.

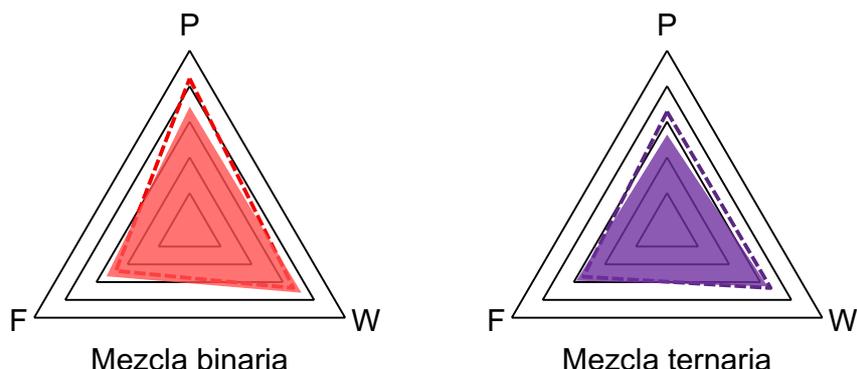


Figura 5. Comparativa entre la estimación del trinomio de propiedades a partir del diseño de mezclas (en línea discontinua) y los valores experimentales obtenidos con las mezclas (en color sólido)

4 CONCLUSIONES

En este trabajo se han seleccionado tres zonas de Turquía con disponibilidad comercial de “ball clays” para su uso en composiciones de gres porcelánico, en sustitución de las arcillas ucranianas. En concreto, las zonas seleccionadas han sido Afyon, Estambul y Konya. Se ha llevado a cabo una caracterización tecnológica con vistas a analizar su uso potencial en composiciones de gres porcelánico, para lo cual se han determinado la plasticidad, el rechazo tras molienda, la compactación de prensado, la fundencia y la blancura. La caracterización se ha comparado con dos muestras comerciales de arcilla ucraniana con diferente contenido en alúmina.

Para una mejor comparación con las arcillas ucranianas, se ha propuesto una metodología sencilla basada en la normalización del rango de variabilidad más común de lo que podría denominarse el trinomio de propiedades: plasticidad, fundencia y blancura. A partir de esta normalización se ha podido comprobar, como ya anticipaban los resultados de la caracterización tecnológica, que ninguna de las arcillas por separado podría funcionar como alternativa a la arcilla ucraniana. Sin embargo, la gran variabilidad que presentan las muestras de las tres arcillas en cuanto a las diferentes propiedades hace posible su mezcla. Basándose en la metodología propuesta, se han diseñado dos mezclas, una binaria (con las arcillas de Afyon y Estambul) y otra ternaria (con las tres arcillas turcas), que han sido confirmadas y validadas a nivel experimental como una buena alternativa a las arcillas ucranianas para muchos de los productos actuales de gres porcelánico.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dondi M.; Guarini G.; Raimondo M.; Salucci F. "Influence of mineralogy and particle size on the technological properties of ball clays for porcelainized stoneware tiles". *Tile & Brick International*, 20 (2003) 2-11.
- [2] Barba, A.; Beltrán, V.; Felú, C.; García, J.; Ginés, F.; Sánchez, E.; Sanz, V. "Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas". Instituto de Tecnología Cerámica, 2ª edición (2002).
- [3] Kadir, S.; Akbulut A. "Mineralogy, geochemistry and genesis of the Taşoluk kaolinite deposits in pre-Early Cambrian metamorphites and Neogene volcanites of Afyonkarahisar, Turkey". *Clay Minerals*, 44 (2009) 89-112.
- [4] Özdamar S.; Ece Ö.I.; Kayacı K.; Küçüker A.S. "Mineralogical technological of underclays and properties in Sile Region, Istanbul, Turkey". *Industrial Ceramics*, 27 (2007) 173-184.
- [5] Genç, Ş.C.; Kayacı, K.; Yıldırım, Y. "Mineralogical and technological properties of the Konya clays, Central Turkey". *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*, 147 (2022) 1887-1897.
- [6] Yavuz O.; Kayacı K.; Küçüker A.S.; Özdamar S.; Uzun M.; Yanık G.; Tarcan, M.; Kara A. "Characterization of underclays from Ağacli-Kemberburgaz region of Istanbul/Turkey and their evaluation for porcelain tile production". *Industrial Ceramics*, 31 (2011) 1-9.
- [7] Tarhan M.; Tarhan B. "Investigation of the usage of Afyon clay in porcelain tile bodies". *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (2019) 275-281
- [8] Doménech V.; Sánchez E.; Sanz V.; García J.; Ginés F. "Assessing the plasticity of ceramic masses by determining indentation force". III Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico, QUALICER 1994, Castelló (España).
- [9] Dondi M.; Raimondo M.; Zanelli C. "Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification", *Applied Clay Science*, 96 (2014) 91-109.
- [10] Celik, H. "Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry". *Applied Clay Science*, 50 (2010) 245-254.