

Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de una pasta para gres porcelánico de color blanco.

Autor

Marcos Valero Galve

NIP/NIA

702345

Director

Alberto García Galve

Ponente

José David Bel Cacho

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza (EINA)

Año 2019-2020

ÍNDICE

1	OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN	4
2	INTRODUCCIÓN A LA PASTA PARA PORCELÁNICO ¹	4
2.1	INTERPRETACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PASTAS CERÁMICAS ²	7
2.2	GRES PORCELÁNICO ³	8
2.2.1	Materias primas de la pasta	8
2.2.2	Parámetros tecnológicos fundamentales	9
2.2.3	Propiedades técnicas ⁴	10
3	DESARROLLO DEL PROYECTO	11
3.1	PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y PREPARACIÓN ⁵	11
3.1.1	Extracción de la materia prima ⁶	11
3.1.2	Trituración y cuarteo de la muestra	12
3.1.3	Secado de la muestra.	12
3.1.4	Molienda de materia prima	12
3.1.5	Conformado de probetas por prensado.	13
3.1.6	Secado de las probetas.	13
3.1.7	Cocción de las materias primas arcillosas.	13
3.2	PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO	14
3.2.1	Determinación de contenido en carbonatos por calcimetría.	14
3.2.2	Determinación del residuo sobre el tamiz	14
3.2.3	Determinación del contenido en humedad	14
3.2.4	Determinación de la plasticidad por el método de pfefferkorn.	14
3.2.5	Determinación de sulfatos	14
3.2.6	Determinación de las coordenadas cromáticas de probetas cocidas (CIELAB)	14
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	16
4.1	ANÁLISIS QUÍMICO	16
4.2	EVOLUCIÓN FÍSICA	17
4.3	VALOR ECONÓMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS	20
5	CONCLUSIÓN FINAL	20
6	BIBLIOGRAFÍA	26
7	ANEXOS	27
7.1	ENSAYOS ⁷	27
7.1.1	Determinación del contenido de carbonatos por calcímetro	27
7.1.2	Determinación del residuo sobre el tamiz	29
7.1.3	Determinación de la plasticidad. método de Pfefferkorn	30

7.1.4	Determinación de las coordenadas cromáticas de probetas cocidas (CIELAB) ⁸	32
7.1.5	Determinación de la contracción de cocción.....	33
7.1.6	Determinación de la absorción de agua.....	33
7.1.7	Determinación del contenido de humedad.....	33
7.1.8	Determinación de la pérdida por calcinación	33
7.1.9	Preparación de materias primas arcillosas por vía seca.....	34
7.1.10	Preparación de materias primas arcillosas por vía húmeda.	34
7.1.11	Conformado de probetas por prensado.	35
7.2	CONTROL DE CALIDAD MATERIAS PRIMAS	36
7.2.1	Arcilla “T1”	36
7.2.2	Arcilla “Granítica”	36
7.2.3	Arcilla “OLC-15”	36
7.2.4	Arcilla “Cerámica”	36
7.2.5	Arcilla “PL-STD”	36
7.2.6	Arcilla “mezcla 1” (70 % “Cerámica”, 30 % “OLC-15”).....	36
7.2.7	Arcilla “mezcla 2” (45 % “T1”, 40 % “mezcla 1”, 15 % “PL-STD”).....	36
7.2.8	Arcilla “mezcla 3” (45 % “Granítica”, 40 % “mezcla 1”, 15 % “PL-STD” 36	
7.2.9	Pasta final con “T1”	36
7.2.10	Pasta final con “Granítica”	36
7.2.11	Arena y feldespato	36
7.3	ABREVIACIONES.....	36
	Figura 1. Curva de gresificación.	6
	Figura 2. Curva de contracción.	6
	Figura 3. Curva de resistencia mecánica	7
	Figura 4. Representación gráfica de la influencia del grado de molienda (residuo), de la compactación en crudo (densidad aparente) y de la temperatura de cocción (°C) en la vitrificación del producto cocido.	10
	Figura 5. Cantera de terrenos horizontales.....	11
	Figura 6. Triturador de mandíbulas.	12
	Figura 7. Molino de martillos.	12
	Figura 8. Prensa de laboratorio de molde circular.	13
	Figura 9. Probetas cocidas en horno de laboratorio.	14
	Figura 10. Medidas de las coordenadas L, a, b en una probeta	14
	Figura 11. Probetas arcilla “Granítica” (izq) y “T1” (dcha).....	18
	Tabla 1. Análisis químico de las muestras arcillosas, arena y feldespato.	17
	Tabla 2. Precio de las materias primas.	20
	Tabla 3. Análisis físico de las arcillas por vía seca.	20
	Tabla 4. Comparativa de propiedades entre las muestras arcillosas.	21

Tabla 5. Análisis físico de las arcillas por vía húmeda.	21
Tabla 6 Análisis físico de las arcillas por vía húmeda con feldespatos.	22
Tabla 7. Análisis físico de las mezclas arcillosas por vía seca.	23
Tabla 8 Comparativa de propiedades entre las mezclas arcillosas.	23
Tabla 9 Análisis físico de las mezclas arcillosas por vía húmeda.	24
Tabla 10 Análisis físico de las mezclas arcillosas por vía húmeda con feldespatos	24

1 OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN

La finalidad de este proyecto es el desarrollo de una pasta para porcelánico de color blanco con el material disponible de la empresa INTRASA, situada en el pueblo de Calanda (Teruel), en cuyos alrededores predominan zonas arcillosas. El principal objetivo es obtener dos pastas de óptimas características físico-químicas que se puedan emplear en la industria del porcelánico usando arcillas diferentes y en distinta proporción de la forma más económica posible. Trataremos de escoger una de ellas combinando calidad y economía usando tanto arcillas nacionales, extraídas en canteras de Teruel y Asturias y, por lo tanto, más baratas; como internacionales, importadas de Ucrania, de mayor valor.

2 INTRODUCCIÓN A LA PASTA PARA PORCELÁNICO¹

Para comenzar a hablar de pasta para porcelánico, es sin duda útil introducir la definición de cerámica. Un material cerámico se puede describir como *“cualquier producto, que posee una forma, compuesto por materias primas inorgánicas no metálicas (tanto minerales como sintéticas), que a partir de un estado incoherente de polvo se transforma por medio de varias operaciones en un producto semielaborado, el cual, por cocción, se convierte en un objeto sólido, que posee una estructura parcialmente cristalina y parcialmente vítrea”*.

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de cerámicos de construcción. Éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, desde la más antigua a la más reciente, y en formaciones ígneas y sedimentarias de todo tipo; como consecuencia de ello, sus características físicas y químicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Por tanto, en cualquier industria cerámica el control de la calidad de los productos empieza por la caracterización y control de la calidad de sus arcillas.

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química, dado que ella influye directamente en las propiedades de las cerámicas obtenidas.

Para una mayor comprensión de la composición de un material cerámico tradicional, se puede generalizar la composición de una pasta cerámica, sabiendo que, con las oportunas modificaciones, podemos llegar a consideraciones parecidas para los otros materiales tradicionales; la pasta base estará compuesta de:

- **Materiales arcillosos**, que proporcionan suficiente plasticidad para poder obtener una forma definida. Estos aportan Al, Si y parte del Ca, Fe, Ti.
- **Materiales fundentes** como los feldspatos, nefelina, etc., que en la cocción generan fases vítreas que actúan como ligantes entre las partículas y promueven las reacciones sólido-sólido; son portadores de Na, K, Al, Si.
- **Otros materiales**, como el talco o sílice, que permiten obtener prestaciones concretas; aportan mayoritariamente Ca, Mg, Si.
- **Aditivos** principalmente para mejorar la reología de las suspensiones acuosas; pueden ser inorgánicos u orgánicos, y se introducen en la pasta en cantidades muy pequeñas (<1%).

Queriendo resumir brevemente el efecto principal de cada componente químico presente en la pasta para la producción de baldosas cerámicas, podemos decir que la presencia de los óxidos proporciona:

- **Al₂O₃**: refractariedad y plasticidad. (cuando se asocia a la presencia de materiales arcillosos)
- **SiO₂**: estructura, esqueleto, así como fases de nueva formación.
- **Fe₂O₃ y TiO₂**: color y, a veces, propiedades fundentes.
- **CaO y MgO**: control de contracción, a través de la formación de silicatos de calcio y magnesio.
- **K₂O y Na₂O**: fundentes, que forman fases vítreas.

La descripción de las principales características de las materias primas individuales correspondientes del proceso productivo no explica, naturalmente, cuales son las mezclas ideales para la producción de baldosas cerámicas que pueden y deben tener características tecnológicas muy distintas. En efecto, en función del tipo de uso, la baldosa tendrá que presentar una buena u optima resistencia a las cargas, abrasiones y manchas concretas (generalmente pavimento), o tendrá que formar reticulados geométricos lo más regulares posibles y, por lo tanto, presentar dimensiones rigurosamente calibradas (revestimiento); por otra parte, la pieza cerámica también podrá ser utilizada en ambientes externos sujetos a ciclos de hielo/deshielo o, por el contrario, en climas húmedos y cálidos, por lo tanto con requisitos críticos de cara a la absorción y reactividad posterior con el agua o la humedad atmosférica.

En cuanto a las propiedades finales concretas a presentar por un soporte cerámico, podemos considerar de primaria importancia la resistencia mecánica y las características geometrías (calibre y planaridad). Aunque estas por sí solas no son suficientes para definir las especificaciones necesarias para la formación de una buena composición.

De hecho, existen muchos otros vínculos a respetar, como: la suficiente plasticidad para la conformación y elaboración de las piezas crudas, la capacidad de secado, también muy rápido, la adecuación para el proceso de cocción...

Cuando se descuidan estos aspectos, el producto acabado puede presentar diferentes problemas como laminaciones y grietas, incompatibilidad con la superficie esmaltada, corazón negro, postexpansión...

Volviendo al primer requisito indicado, la resistencia mecánica, los valores mínimos a observar están dictados por las normas correspondientes. El módulo de rotura es una magnitud intensiva que caracteriza la calidad de un material con respecto a otro. Por lo tanto, los requisitos de resistencia mecánica que las Normas Internacionales establecen para los productos acabados fijan valores mínimos del módulo de rotura desde 15N/mm² (revestimiento – clase B III) hasta 35N/mm² (gres porcelánico – clase B Ia).

Por otra parte, satisfacer los requisitos de resistencia mecánica es bastante fácil, tanto que una misma composición podría ser utilizada para más de una clase de producto; sin embargo, esto no es así cuando se considera el conjunto de las propiedades fundamentales de la pieza cerámica.

Se debe examinar, ante todo, el comportamiento de la pasta en la gresificación: las curvas de gresificación (contracción y absorción de agua en función de la temperatura

máxima de cocción) relativas a las diferentes tipologías de productos (revestimiento de pasta roja (R) y blanca (B), pavimento rojo (R) y claro (B), gres porcelánico (P)) muestran el alcance de las diferencias.

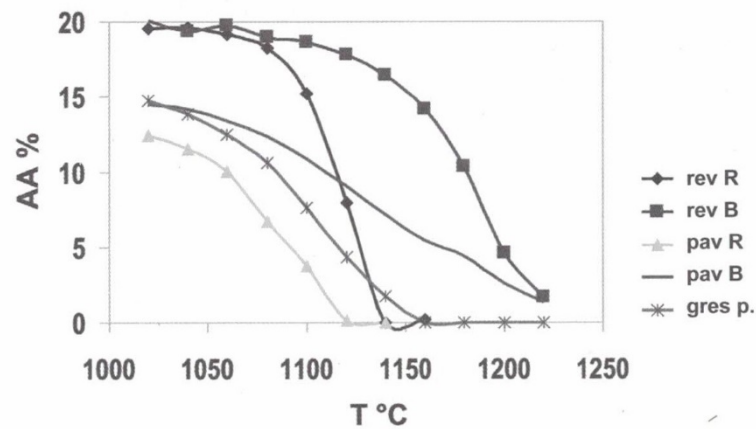


Figura 1. Curva de gresificación.

Las pastas de revestimiento presentan una elevada porosidad en un intervalo bastante amplio a bajas temperaturas, mientras gresifican a continuación demasiado rápidamente para poder ser utilizadas como pavimento. Una composición destinada a la gresificación total (absorción de agua = 0), como el gres porcelánico, presenta, en cambio, un intervalo de estabilidad muy amplia con una baja porosidad, a diferencia de las composiciones normales de pastas de pavimento esmaltado.

Al igual que el criterio de la porosidad, las curvas de contracción también presentan la gran diversidad de comportamiento que existe entre las diferentes pastas. En este sentido, se suele observar la mayor estabilidad de las pastas blancas, con respecto a las rojas, más arcillosas y composicionalmente menos equilibradas en sus componentes, tanto en los productos gresificables como en los porosos.

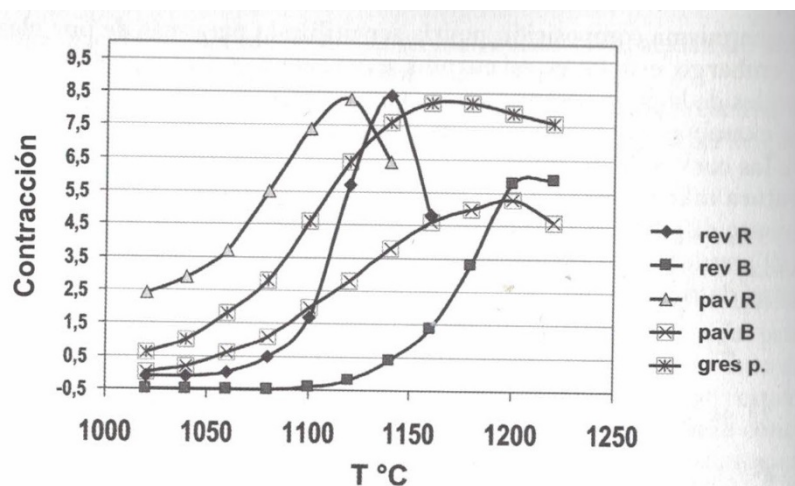


Figura 2. Curva de contracción.

Por lo que se refiere a los materiales porosos, típicos del revestimiento, cabe destacar en particular la contracción laminada (<1%) a bajas temperaturas de cocción.

Por otra parte, la resistencia mecánica está en buena parte asociada a los comportamientos manifestados en la sinterización. Por consiguiente, se pueden observar valores más elevados para las pastas rojas, que presentan una mayor tendencia a la gresificación, con excepción del gres porcelánico, cuya composición se diseña a propósito para desarrollar las fases vítreas.

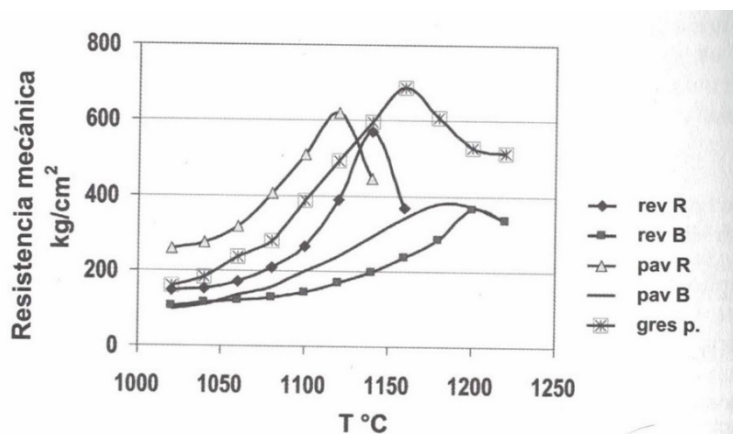


Figura 3. Curva de resistencia mecánica

2.1 INTERPRETACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PASTAS CERÁMICAS²

Hasta ahora se han considerado los factores macroscópicos que se verifican y controlan generalmente durante el proceso productivo. Ciertamente es posible adentrar más a fondo en el examen de las modificaciones estructurales sufridas por los materiales, en particular modo durante la cocción, para identificar las causas primarias de los fenómenos observados anteriormente; de este modo resultaran más evidentes las profundas diferencias en las composiciones y comportamientos de las pastas porosas y gresificadas. Como se ha nombrado anteriormente, nos encontramos con tres tipos de pastas cerámicas: revestimiento, pavimento y gres porcelánico.

- **REVESTIMIENTO:**

En general, a los materiales de revestimiento se pueden atribuir las siguientes características:

- Máxima estabilidad dimensional en la cocción, con valores de contracción prácticamente nulos (<1%).
- Porosidad entre 13 y 18% (expresada como porcentaje de agua absorbida)
- Valores del módulo de ruptura en cocido entre 12 y 15N/mm².

- **PAVIMENTO:**

Las características principales son:

- Valores de absorción de agua entre el 0,5 y 10%.
- Valores del módulo de ruptura en cocido entre 18 y 30N/mm².

- **GRES PORCELÁNICO:**

Ahora se va a tratar de explicar el gres porcelánico en mayor detalle, pues es el que nos interesa para el desarrollo del proyecto.

2.2 GRES PORCELÁNICO³

El gres porcelánico es un producto con unas óptimas características técnicas, ya que presenta una elevada resistencia mecánica y valores de absorción de agua extremadamente reducidos, a menudo inferiores al 0,1%.

En el contexto de la industria de las baldosas cerámicas, el gres porcelánico ha asumido una importancia cada vez mayor, con su difusión desde segmentos de mercado muy limitados por cantidad y especialización de aplicación, a segmentos cada vez más diferenciados; el resultado ha sido un claro incremento de los volúmenes productivos. El producto, valorado en el pasado simplemente por sus características técnicas, se caracteriza hoy por un notable potencial estético que permite su penetración hacia usos más sofisticados.

La denominación gres porcelánico es suficiente para poder remontar a los orígenes y las características del producto; en efecto gres, en la terminología cerámica, indica un material de masa extremadamente compacta, constituida por varias fases cristalinas inmersas en una matriz vítrea, mientras el adjetivo porcelánico posee una clara raíz etimológica en el término porcelana, el material cerámico más noble, conocido y apreciado durante siglos.

En la norma, el gres porcelánico se asigna al grupo BIa, que comprende los materiales gresificados, caracterizados por valores de porosidad claramente inferiores al 0,5%, expresados en términos de absorción de agua.

Entre los materiales cerámicos, el gres porcelánico es aquel que mejor resiste al desgaste de cualquier tipo, en virtud de su elevada dureza superficial. Además, posee óptimas propiedades de resistencia a la helada, resistencia mecánica a la flexión y compresión, resistencia al ataque químico y a las manchas, etc.

2.2.1 Materias primas de la pasta

Las materias primas empleadas para la composición de las pastas de gres porcelánico pueden encuadrarse en algunos grupos de minerales específicos, donde cada uno desempeña una función propia específica: las materias primas arcillosas confieren plasticidad a la composición, mientras que los materiales complementarios, no plásticos, comprenden los minerales fundentes y los de función predominantemente desgrasante y estructural.

A la primera familia pertenecen los minerales arcillosos de naturaleza illítico-caolinitica o montmorillonítica, de características plásticas más o menos evidentes con relación a la misma estructura mineralógica y a la granulometría de las partículas. Los minerales fundentes están representados por los feldespatos, talco, euritas, pegmatitas; aquellos más refractarios, de función estructural generalmente son el cuarzo y las cuarcitas.

Para todos los componentes se exige una baja concentración de óxidos colorantes como Fe_2O_3 y TiO_2 , con el fin de evitar contaminaciones cromáticas del color natural de la pasta.

Las relaciones cuantitativas entre los componentes dependen de la naturaleza mineralógica de las arcillas, de la granulometría de las partículas arcillosas y, en último análisis, de su reactividad con respecto a los minerales fundentes.

La arcilla de tipo Arcilla Plástica se encarga de aportar las características plásticas en verde, por lo tanto, la trabajabilidad en la prensa y la resistencia mecánica de la pieza seca. El feldespato es un material fundente a los niveles térmicos de cocción habituales (1200-1230°C). El cuarzo, cuando participa en la fusión con los feldespatos, es un componente equilibrador de la viscosidad y de los flujos vítreos; en cambio, cuando no participa en las reacciones, constituye la matriz base de la fase cristalina presente en el producto acabado, junto con una modesta cantidad de mullita, generada a partir de la descomposición de las caolinitas.

2.2.2 Parámetros tecnológicos fundamentales

Junto con la naturaleza química y mineralógica de las pastas, los parámetros tecnológicos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo del proceso.

- **Grado de molienda:** para favorecer las reacciones de vitrificación y densificación en la cocción, el valor del residuo sobre malla 230 de la borbotina después de la molienda debe ser muy reducido, entre 0,5 y 1%. A estos valores de residuo corresponden normalmente diámetros medios de partícula entre 15 y 20 micras. Este grado de finura contribuye a aumentar la superficie específica de las partículas que forman la masa cerámica y, por lo tanto, su reactividad en la cocción.
- **Densidad en crudo:** el objetivo es la obtención, en la fase de prensado, del máximo grado de compacidad en crudo de los polvos atomizados, de forma compatible con los problemas de desgasificación que se manifiestan en la cocción. La presión de conformación utilizada normalmente (50 bares) permite obtener valores de densidad de la pieza prensada de 1,95-2,00 g/cm³.
- **Ciclo y temperatura de cocción:** es la fase con la que finaliza el proceso, donde se manifiesta el resultado de la molienda y del prensado: la temperatura y el tiempo son los parámetros fundamentales que deben evaluarse cuidadosamente para alcanzar el objetivo fijado, es decir, la obtención de un material vitrificado de baja porosidad. En general, la cocción rápida del gres porcelanito requiere ciclos de 50-70 minutos y temperaturas de cocción del orden de 1200-1220 °C.

Es importante observar que los parámetros indicados no pueden ser estudiados y evaluados por separado, sino solo en su conjunto, considerando sus interacciones y los efectos sinérgicos inducidos por las variaciones simultáneas de más parámetros. La "Figura 4" expresa de forma gráfica los efectos de los parámetros individuales y sus combinaciones.

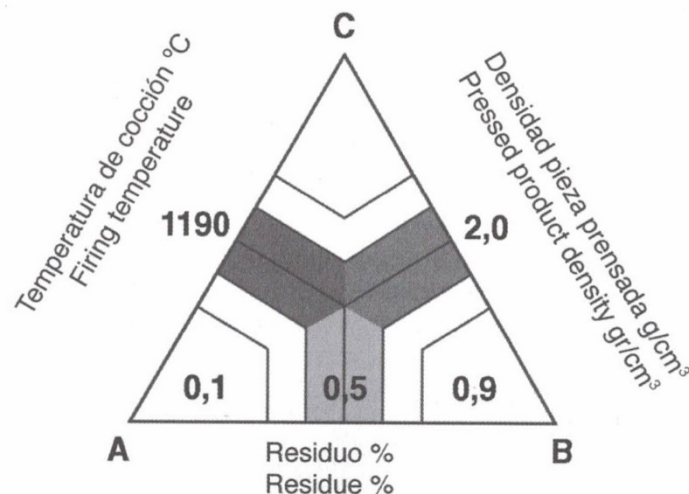


Figura 4. Representación gráfica de la influencia del grado de molienda (residuo), de la compacidad en crudo (densidad aparente) y de la temperatura de cocción (°C) en la vitrificación del producto cocido.

En el caso de las pastas coloreadas, es muy importante considerar el equilibrio de la curva de gresificación entre las varias composiciones; en efecto, las diferentes adiciones de pigmentos pueden modificar el comportamiento de la pasta en la vitrificación y desplazar el punto óptimo de cocción, con lo que a veces resulta necesario el ajuste de la composición.

Los requisitos del producto acabado (absorción de agua casi nula, valores muy elevados de resistencia a la flexión y a la abrasión profunda, escasa manchabilidad) dependen tanto de la selección de las materias primas, como de las condiciones de proceso en las fases fundamentales de la dosificación, molienda, prensado, secado y cocción.

2.2.3 Propiedades técnicas⁴

El gres porcelánico es la baldosa cerámica que presenta las mejores características técnicas, al ser un producto constituido fundamentalmente de fases cristalinas de elevada dureza, sinterizado a alta temperatura.

La evolución técnica de este material, para incrementar todavía más sus prestaciones, puede parecer superflua o no estrechamente necesaria desde el punto de vista comercial. Sin embargo, desde el punto de vista técnico, en cambio, hay que señalar que un material cerámico heterofásico presenta una microporosidad intrínseca, debido a la imposibilidad de llenar, incluso después de una cocción prolongada, los huecos existentes entre las partículas sólidas cristalinas y la fase vítrea que las rodea.

El gres porcelánico pertenece a esa categoría de materiales y presenta una microporosidad, incluso mínima que, si no se controla adecuadamente, puede dar origen a fenómenos más o menos marcados de ensuciabilidad del producto.

Generalmente, los valores de porosidad abierta son muy reducidas (aproximadamente 0,5% en términos de agua absorbida)

Se ha demostrado que la penetración de agentes de manchas y la eliminación de las mismas está relacionada con la forma y diámetro de los poros. Se puede comprender intuitivamente como los poros abiertos de dimensiones relativamente grandes favorezcan una fácil limpieza del producto, provocando sin embargo un empeoramiento visual de la superficie.

Por el contrario, los poros extremadamente pequeños pueden inhibir el problema aguas arriba, al no permitir la intrusión de sustancias extrañas y es, por tanto, esta segunda vía la que se va persiguiendo cada vez más para la optimización de las características del producto.

La oportuna regulación de los parámetros de elaboración permite incrementar notablemente el grado de densificación del material, por ejemplo, a través de:

- Un aumento de la superficie específica de los componentes de la pasta, al actuar sobre el grado de molienda, especialmente en los materiales duros (cuarzo y feldespatos)

- Un aumento de la compacidad de los polvos, con el uso de altas presiones de conformación.
- El uso de fundentes más enérgicos, de forma compatible con la estabilidad químico-física de las pastas y su tendencia a la deformación pirolástica.

Indudablemente, estas y otras soluciones seguirán siendo aceptadas con resultados cada vez mejores, asegurando un elevado nivel de calidad de gres porcelánico fabricado en el próximo futuro.

3 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para desarrollar una pasta de porcelánico solamente con las arcillas importadas del extranjero la podríamos conseguir, pero esto tendría un valor muy alto. Por lo tanto, se van a tratar de combinar de la mejor forma posible con las arcillas nacionales, ya que son propias de la empresa y salen a un valor económico.

Con el apoyo de una ingeniera química se ha ido desarrollando una pasta de porcelánico blanca con el fin de exportarla a las empresas de baldosas. Para ello intentamos que nuestro coste sea el menor posible para obtener un mayor beneficio.

La posibilidad de combinaciones de tipos de arcillas y en distintas proporciones podría ser infinita, por lo tanto, se van a usar dos tipos de arcillas base procedentes de Ucrania, y a partir de las arcillas nacionales vamos a intentar que las arcillas importadas introducidas en la mínima proporción posible mantengan las propiedades, pues son las de mayor valor.

Para obtener valores característicos de cada arcilla se realizan una serie de experimentos en laboratorio en el que debemos ser lo más preciso posible y para ello debemos seguir una serie de pasos.

3.1 PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y PREPARACIÓN⁵

3.1.1 Extracción de la materia prima⁶

Inicialmente, para la extracción de la arcilla de la cantera se necesita una cierta técnica para sacar de manera homogénea la arcilla deseada, pues en la misma cantera pueden estar separadas las arcillas de manera vertical u horizontal siguiendo una vertiente. Por ejemplo, para las canteras en terrenos horizontales se inicia en trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, ensanchándose a continuación el hueco creado y compaginando este avance lateral con la profundidad. De este modo obtenemos la arcilla a granel y por lo tanto el material de la partícula será muy grande para trabajar con ella.



Figura 5. Cantera de terrenos horizontales.

3.1.2 Trituración y cuarteo de la muestra.

Bien de la cantera directamente, o de la fábrica, se obtiene una muestra que sirva de manera representativa para trabajar con ella. Para ello debemos pasarlo por un triturador de mandíbulas de manera que tritura la arcilla a trozos más pequeños, aunque todavía imposible de trabajar con ellos.



Figura 6. Triturador de mandíbulas.

3.1.3 Secado de la muestra.

La arcilla nos la encontramos húmeda, por lo que la tenemos que dejar secar en una estufa a 100°C unas 12 horas para eliminar esa humedad y ya poder trabajar.

3.1.4 Molienda de materia prima.

La materia se va a moler a dos tamaños de partículas en dos lugares distintos. Inicialmente, la muestra ya seca se procede a su molienda vía seca en molino de martillos por debajo de 1 mm y a partir de este tamaño de partícula ya se pueden realizar todos los ensayos que explicare a continuación.



Figura 7. Molino de martillos.

Por otra parte, se va a realizar otra molienda en vía húmeda con la arcilla molida en vía seca en un molino de bolas de alúmina, dejando un grano de 0,6mm.

3.1.5 Conformado de probetas por prensado.

El material molido se humedece y a continuación se prensan a 50 bares de presión varias probetas, tanto en molde circular como rectangular, para su cocción a diferentes temperaturas. Previamente a su cocción se determina la densidad aparente en seco y el módulo de rotura en seco.

Tales presiones, causan reacomodo y deformación parcial en el polvo, lo que permite un alto grado de compactación en la pieza prensada.



Figura 8. Prensa de laboratorio de molde circular.

3.1.6 Secado de las probetas.

El proceso de secado tiene la función de eliminar el agua de la pieza prensada y que fue necesaria al momento de su moldeo. En general, las condiciones bajo las cuales el agua es removida del recubrimiento son relativamente críticas para asegurar la integridad del producto y, por tanto, deben de ser bien controladas para prevenir deformaciones o fracturas.

3.1.7 Cocción de las materias primas arcillosas.

Una vez están prensadas las probetas, se dejan secar en la estufa 12 horas a 100 °C, para posteriormente introducirlas en un horno de ciclo rápido a distintas temperaturas para medir la contracción lineal, absorción de agua, densidad aparente en cocido, pérdida por calcinación y realizar el ensayo de tendencia a la formación de corazón negro.



Figura 9. Probetas cocidas en horno de laboratorio.

3.2 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO.

3.2.1 Determinación de contenido en carbonatos por calcimetría.

Se utiliza un calcímetro de Bernard para esta determinación.

3.2.2 Determinación del residuo sobre el tamiz

Se determina el residuo por encima de 125 μm y de 63 μm . Esto permite conocer las impurezas que tiene el material arcilloso.

3.2.3 Determinación del contenido en humedad.

Este control se realiza para poder determinar si la humedad del material está dentro de los límites adecuados para ser entregado al cliente. En el caso de materias primas de otros proveedores, también es importante su control, por el mismo motivo.

3.2.4 Determinación de la plasticidad por el método de pfefferkorn.

3.2.5 Determinación de sulfatos

Mediante un colorímetro. Este parámetro es muy importante para determinar el comportamiento del material en cuanto a su desfloculación durante el proceso industrial.

3.2.6 Determinación de las coordenadas cromáticas de probetas cocidas (CIELAB)

Mediante un espectrofotómetro se determinan las coordenadas L, a, b a cada una de las temperaturas, referentes al parámetro de blancura, rojo-verde o amarillo-azul.



Figura 10. Medidas de las coordenadas L, a, b en una probeta

Todos estos procedimientos se explican detalladamente en los anexos.

Se ha comenzado por analizar las arcillas principales que componen la base de la pasta, las arcillas ucranianas “T1” y “granítica”.

Una vez las tenemos analizadas, podemos pensar qué tipo de arcillas nacionales combinarían bien con ellas. Como necesitamos una pasta de color blanco, todas las

arcillas rojas las hemos descartado directamente, pues conseguiríamos un color que no nos conviene.

Las arcillas base ya contienen un alto índice de plasticidad y módulo de rotura, así que la idea es mantenerlo o que disminuya lo mínimo posible. Para ello se analizarán una serie de arcillas y se elegirá según nos convenga.

El análisis químico (contenido de carbonatos y sulfatos, determinación de residuo sobre el tamiz, determinación de la tendencia a la formación de corazón negro) y el índice de plasticidad de las arcillas se realizan con la muestra procesada en vía seca, mientras que se van a realizar una serie de probetas según el tipo de procesado:

- VÍA SECA: 3 probetas circulares, para ser cocidas a 1100, 1150 y 1200°C, y 5 probetas rectangulares, cociendo tres de ellas a 1100, 1150 y 1200°C, y las dos restantes sin ser cocidas, en seco. También se realizará la probeta de corazón negro.
- VIA HÚMEDA SÓLO ARCILLA: 3 probetas circulares para ser cocidas a 1100, 1150 y 1200°C y tres rectangulares a la misma temperatura.
- VÍA HUMEDA ARCILLA + FELDESPATO: 3 probetas circulares para ser cocidas a 1180, 1200 y 1220°C, y 7 rectangulares; tres de ellas a 1180, 1200 y 1220°C, dos más a 1200 °C (para guardarse como muestra) y otras dos para no ser cocidas. Aquí se utilizan estas temperaturas porque el feldespato funde en torno a los 1200°C.

A pesar de que la opción de molienda en húmedo y atomizado es la más conveniente desde un punto de vista energético, y por tanto la menos costosa, es la que se utiliza en la fabricación del gres porcelánico por los siguientes motivos:

- La molienda en húmedo nos permite alcanzar tamaños de partícula más finos con lo cual se puede obtener un recubrimiento homogéneo y denso durante la cocción
- En la molienda en húmedo, debido a que se utilizan cantidades de agua del 35 - 40 %, se puede lograr una óptima homogeneización de las materias primas que conforman el polvo.
- El Atomizado produce polvos granulares con morfologías y distribuciones de tamaño de partícula apropiadas para el correcto llenado de los moldes en las prensas con lo cual es posible conseguir buenas compactaciones en el recubrimiento y, por tanto, favorecer la sinterización en la etapa de cocción.

Las probetas circulares se prensan para medir la absorción de agua, la contracción lineal, densidades aparentes en seco y cocido, humedades y pérdidas por calcinación.

Las probetas rectangulares se prensan únicamente para medir el módulo de rotura tanto en seco, como tras la cocción.

En el proceso de fabricación industrial, una vez que las piezas son moldeadas en la etapa de prensado, éstas son sometidas a procesos de transporte, decoración y manipulación, de tal forma que, los valores de resistencia mecánica a la flexión en seco deberán ser elevados para permitir la conservación de la integridad de las piezas sin que éstas presenten fracturas o desportillados. La resistencia mecánica a la flexión en seco se mide en la pieza cuando ésta sale de la etapa de secado y posee un contenido de humedad

inferior al 1 %. Por tal motivo, los valores de resistencia mecánica a la flexión en seco han de ser medidos para cada mezcla.

Durante la cocción, una serie de reacciones y transformaciones toman lugar en las materias primas y, en general, las características del producto final dependen no solamente de las reacciones que ocurren, sino también en la forma en que se llevan a cabo. Se puede decir que, el tipo de materias primas utilizadas y las altas temperaturas alcanzadas conducen a la formación de abundante fase líquida que rodea a las partículas no fundidas y que se encuentran tenazmente unidas y permiten la formación, después del enfriamiento, de una estructura vítrea que es extremadamente densa y resistente. Estas reacciones y transformaciones son siempre acompañadas por un reacomodo de las partículas del soporte, lo cual conduce a un sensible encogimiento del recubrimiento. Tal encogimiento representa un riesgo, en donde, si las condiciones de operación no son adecuadamente controladas, aparecerán variaciones dimensionales en el recubrimiento con respecto a su medida nominal, así como, defectos de ortogonalidad y planaridad. En la actualidad, el grado de equipamiento de los hornos en las áreas de control y combustión es muy elevado y, por tanto, el control de los defectos mencionados anteriormente es mayor.

Una de las herramientas más importantes para evaluar las formulaciones de cuerpos cerámicos en la etapa de cocción es la construcción de curvas de gresificación, en donde, se puede observar como varía el % de absorción de agua y el % de contracción lineal total con respecto a la temperatura.

Para el desarrollo de la pasta se han analizado diversas arcillas (arcilla “T-1”, arcilla “granítica”, arcilla “cerámica”, arcilla “PLSTD”, arcilla “OLC-15”) con las que se combinarán de la mejor manera posible entre ellas, eliminando la que sea conveniente. También se va a analizar una muestra de arena y otra de feldespato, pues acompañará a la arcilla en la pasta.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se discutirán los resultados obtenidos de la etapa experimental. En primer término, se revisará la caracterización efectuada a las materias primas, la cual sirvió de base para establecer las formulaciones de gres porcelánico que fueron sintetizadas.

4.1 ANÁLISIS QUÍMICO

El análisis químico de las materias primas fue obtenido a partir de una espectroscopia de absorción atómica, obteniendo los siguientes resultados para cada materia empleada.

Tabla 1. Análisis químico de las muestras arcillosas, arena y feldespato.

Arcilla	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	C	S
Granítica	59,16	27,07	0,87	0,28	0,50	0,46	2,05	1,33	0,11	0,03
T-1	57,80	27,70	1,61	0,30	0,49	0,43	2,15	1,44	0,16	0,05
OLC-15	61,52	23,52	2,15	0,13	0,70	0,22	3,78	0,94	0,32	0,18
Cerámica	62,81	24,39	0,91	0,35	0,50	0,41	2,07	1,35	0,08	0,05
PLSTD	68,28	20,49	0,66	0,10	0,53	0,38	4,62	0,87	0,15	0,14
Arena	88,00	6,70	0,15	0,12	0,09	0,08	2,2	0,13	0,00	0,00
Feldespato	73,67	15,83	0,28	0,47	0,22	8,30	0,36	0,17	0,00	0,00

Como se ha nombrado anteriormente, el objetivo principal de una pasta de porcelánico es que tenga altos valores de plasticidad, y eso se consigue con altos porcentajes de alúmina. El porcentaje de sílice y alúmina van inversamente relacionados: a menor porcentaje de sílice, mayor contenido en alúmina. Por lo tanto, se demuestra en el análisis que las arcillas base van a ser las denominadas “T-1” y “granítica” por su alto contenido en alúmina.

El óxido férrico es el que proporciona el color rojizo de la arcilla, por lo que conviene que tengan valores bajos, ya que queremos una pasta blanca. Y así ocurre con todas las materias analizadas, que no superan el 1%, excepto con la arcilla “OLC-15”, que supera el 2%. El TiO₂ proporciona un color amarillento, por lo que también interesan valores bajos. Como se ve, la arena y el feldespato que se añade a la arcilla van a proporcionar color blanco, además de otras propiedades.

El Na₂O y el K₂O son los fundentes; y para cada muestra hay valores muy distintos. Valores altos en estos compuestos, provoca que el punto de cocción sea más alto, como ocurre con el feldespato, que hasta los 1200 °C no cuece. También provoca que gresifique mejor, de ahí que se añada en altas proporciones el feldespato en la pasta. Se puede observar que la arcilla “PL-STD” también tiene alto contenido en fundentes, por lo que en la mezcla arcillosa no se debe añadir mucha cantidad.

El contenido en CaO y MgO no tiene mucha importancia, pues todas arcillas contienen valores muy bajos.

El porcentaje en carbono interesa que sea bajo, pues genera pinchazos, provocando que se vean puntos negros en la pasta tras cocerse. Además, en el interior se ve la materia orgánica, que se observa al determinar la tendencia al corazón negro.

Los sulfatos también han de ser bajos, pues provocan problemas de desfloculación, quedándose la pasta pegada en el lugar de trabajo. También se ha de indicar que un alto contenido en sulfatos genera unas emisiones contaminantes a la atmósfera.

4.2 EVOLUCIÓN FÍSICA

El análisis químico ya da una pequeña impresión de cómo va a ser físicamente cada arcilla, pero aun así se debe realizar y analizar cada ensayo.

El objetivo es obtener una mezcla que acompañe a la arcilla “T-1” y “granítica” y ver el comportamiento de ambas, para al final elegir una u otra según nos convenga.

Como se ha comentado anteriormente, para cada tipo de arcilla hay tres procesos diferentes: vía seca, vía húmeda con arcilla sola y vía húmeda con arcilla y feldespato al 50%. Todas las curvas de gresificación obtenidas se encuentran en los anexos, pero se van a comentar los aspectos más importantes de cada arcilla.

Cabe indicar, que el proceso por vía húmeda con feldespato es el que más información nos proporciona, pues al final la pasta llevará un porcentaje en feldespato parecido. Además de verse que con su adición crece la densidad aparente tras la cocción de la arcilla, pues sirve para compactar. El intervalo de temperaturas con feldespato es tan bajo porque los valores de contracción, absorción y densidad se mantienen constantes. Trabajando a 1200 °C favorece el proceso a nivel industrial, a una variación de 20 °C arriba o abajo no provoca dificultades en su trabajo.

Como se mostraba con el análisis químico, la arcilla “T1” está 6 puntos por debajo que la “Granítica” en el valor de la L, el coeficiente que determina la blancura de la arcilla. Las curvas de gresificación se encuentran en el “Documento 1” y “Documento 2” respectivamente.

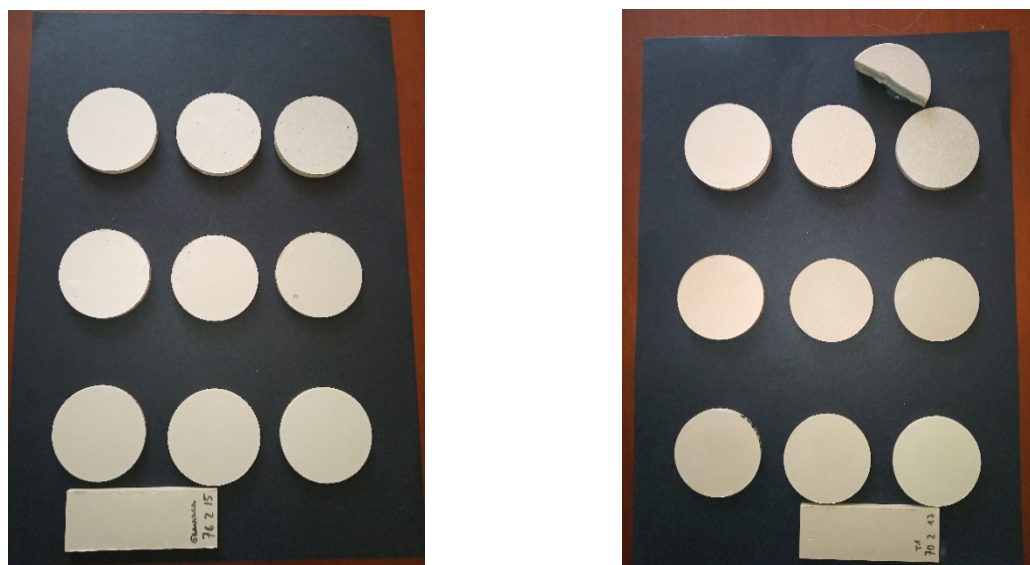


Figura 11. Probetas arcilla “Granítica” (izq) y “T1” (dcha).

Según las coordenadas cromáticas de las probetas cocidas, se ve como las mezclas al 50% arcilla – 50% feldespato poseen un color blanco, excepto la arcilla “OLC-15”, que tiene un color rojizo. Esta arcilla va a ser utilizada por sus cualidades físicas, pero por su color no la debemos emplear en gran cantidad, además de que también tiene algo de corazón negro. Con las coordenadas se ve como en la mezcla de arcilla con feldespato siempre baja el nivel de blancura de la probeta. La curva de gresificación de la arcilla OLC-15 se encuentra en el “Documento 3”.

La arcilla “Cerámica” tiene muy buenas propiedades, por lo que se va a emplear en gran cantidad amortiguando los valores de las arcillas base “T-1” y “Granítica” con el objetivo de introducir la mínima cantidad de estas. La curva de gresificación de la arcilla “Cerámica” se puede ver en el “Documento 4”.

La arcilla “PLSTD” también es una arcilla con buenas cualidades físicas, pero con el inconveniente de que contiene altos porcentajes de fundentes como ya se ha comentado, y no se puede aplicar en gran cantidad en la mezcla arcillosa. La curva de gresificación de la arcilla “PL-STD” se puede ver en el “Documento 5”.

Con la ingeniera encargada de laboratorio se ha preparado una mezcla arcillosa combinando al 70% de arcilla “Cerámica” y 30% de arcilla “OLC-15”, la cual ha sido estudiado su comportamiento.

El resultado obtenido es el que se pretendía conseguir:

- El color rojizo de la arcilla “OLC-15” oscurece el color blanco de la “Cerámica” pero, aun así, al estar en mínima proporción se mantiene un color apto para trabajar.
- El índice de plasticidad se va a mantener el valor alto que proporciona la arcilla “cerámica”
- Una parte positiva de la arcilla “OLC-15” es que no tiene rechazos, por lo tanto, el valor de rechazo en la mezcla va a disminuir en torno al 30%.
- Con el aporte de la arcilla “OLC-15” se mejora la resistencia mecánica y la densidad aparente tras la cocción de la arcilla “cerámica”.

La curva de gresificación de la mezcla analizada se encuentra en el “Documento 6”.

Esta arcilla se le denominará “mezcla 1” y en el laboratorio vamos a crear otra mezcla que ya será la definitiva para la pasta, combinándola con la arena y el feldespato.

Como se va a tratar de elegir entre dos arcillas bases, inicialmente se va a combinar la arcilla “T-1”, “mezcla 1” y “PLSTD” en unas proporciones de 45, 40 y 15% respectivamente. Paralelamente se realizará lo mismo, pero sustituyendo la arcilla “T-1” por la “granítica”. La arcilla “PLSTD” se emplea para blanquear la mezcla en ambos casos, mientras que la arcilla “mezcla 1” se emplea para abaratar, pues ya tiene unas propiedades óptimas. La combinación con “T1” la denominaremos “mezcla 2” y se encuentra en el “Documento 7”, mientras que en la que se usa arcilla “granítica” se encuentra en el “Documento 8” como “mezcla 3”.

Para terminar, y tras confirmar que las mezclas creadas son aptas para una pasta para porcelánico de color blanco, se van a combinar la “mezcla 2” y la “mezcla 3” con arena y feldespato, pues son los materiales que hacen falta para conformar el gres porcelánico.

En el proceso por vía húmeda con arcilla y feldespato se mezclan al 50% para obtener una idea de cómo actuarían juntos la arcilla y el feldespato; por lo tanto, se van a mezclar en unas proporciones de 46% de mezcla arcillosa, 46% feldespato y 8% de arena.

La cantidad de feldespato empleada debe ser alta debido a la necesidad de formar abundante fase líquida durante la cocción que permita catalizar el proceso de sinterización y así obtener las características técnicas deseadas en el producto final.

La arena se emplea para compactar y se usa como desengrasante, para evitar una plasticidad excesiva y aportando una mejor resistencia en crudo; no se emplea en grandes cantidades, pues tiene un alto valor de absorción de agua (23,8%) a 1200°C. Además, sirve para abaratar el precio de la pasta.

La pasta con “T1” se muestra en el “Documento 9” y la pasta con “Granítica” en el “Documento 10”. El análisis de la arena y el feldespatos se encuentran en el “Documento 11”.

4.3 VALOR ECONÓMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS

Para tener en cuenta cual nos va a proporcionar un mayor beneficio, primero debemos saber los precios aproximados (siempre van variando) de cada arcilla, arena y feldespatos. Por lo tanto, en la “Tabla 2” se muestra el coste de cada una:

Tabla 2. Precio de las materias primas.

ARCILLA	COSTE (€/tonelada)
T1	75
GRANÍTICA	85
OLC-15	28
PL-STD	45
CERÁMICA	63
FELDESPATO	37
ARENA	15

Como se ha hablado durante todo el informe, el principal objetivo es obtener una pasta de propiedades aptas para gres porcelánico de menor valor posible. Por lo tanto, interesa emplear en mayor cantidad las de menor coste, especialmente la arcilla “OLC-15” y la arena.

5 CONCLUSIÓN FINAL

Una vez realizados todos los análisis se va a tratar de mostrar una tabla comparativa entre las materias primas analizadas por las tres vías de desarrollo:

VÍA SECA

Tabla 3. Análisis físico de las arcillas por vía seca.

ARCILLA	T (°C)	CL (%)	AA(%)	Dapc (g/cm3)	L	a	b	RM(kg/cm2)
T1	1100	4,4	9,6	1,97	81	8	15	338
	1150	7,6	4,8	2,22	77	8	16	444
	1200	9,1	0,9	2,34	70	4	13	476
GRANÍTICA	1100	4,1	9,6	2,02	86	4	10	327
	1150	6,8	5,7	2,10	85	3	11	469
	1200	8,0	1,0	2,34	79	2	13	443
CERÁMICA	1100	3,7	11,9	1,97	85	4	11	280
	1150	5,9	7,6	2,13	83	4	12	296
	1200	7,7	4,3	2,17	80	2	14	399
OLC-15	1100	2,3	11,2	2,02	79	6	16	224
	1150	4,8	7,1	2,18	74	6	18	404
	1200	5,8	4,9	2,24	69	4	17	511

PL-STD	1100	3,8	9,7	2,04	88	1	10	251
	1150	5,3	6,8	2,14	86	2	12	393
	1200	7,1	3,9	2,21	81	2	15	586

Como se ha comentado, las arcillas “T1” y “Granítica” son de características muy similares, salvo las diferencias en color, que son bastante considerables. Las absorciones de agua de éstas son mínimas a 1200°C, mientras que las materias primas restantes absorben una mayor cantidad de agua. Las cinco muestras poseen una resistencia mecánica suficientemente alta para que en su manipulación en la industria no genere ningún problema.

Tabla 4. Comparativa de propiedades entre las muestras arcillosas.

ARCILLA	T1	GRANÍTICA	CERÁMICA	OLC-15	PL-STD
PPC(%)	7,9	7,9	6,7	7,6	5,0
IP (%)	41,60	38,05	35,50	32,60	32,86
CC (%)	0,16	0,32	0,16	0,13	0,08
SO4 (ppm)	100	100	205	1620	100
R (125µm) (g)	0,76	1,40	2,60	0,00	0,22
R (63µm) (g)	1,48	2,74	4,04	0,02	0,38
H prensado (%)	8,2	8,7	10,1	6,6	8,3
Daps (g/cm3)	1,89	1,90	1,85	1,98	1,89
Mod.rot (kg/cm2)	51,2	35,5	46,0	49,6	25,0
Código	MP- BLANCA	MP- STD B	MP- STD B	MP- NEGRA	MP- STD B

El análisis químico se ve reflejado en la “tabla 4”, pues la proporción de los valores de alúmina corresponden con los del índice de plasticidad (IP), a más alúmina en la composición, mayor plasticidad. Según el porcentaje del índice las materias primas se dividen en arenosas (<25%), plásticas (25-30%) y muy plásticas (>30%). Para el desarrollo de la pasta hace falta emplear arcillas muy plásticas.

Los contenidos en carbonos son bajos en todas las muestras, mientras que en sulfatos la arcilla “OLC-15” tiene valores altos que podría generar algún problema debido a la desfloculación

VÍA HÚMEDA

Tabla 5. Análisis físico de las arcillas por vía húmeda.

ARCILLA	T (°C)	CL (%)	AA(%)	Dapc (g/cm3)	L	a	b	RM(kg/cm2)
T1	1100	6,9	4,5	2,10	75	10	21	739
	1150	8,8	0,8	2,28	70	5	18	847
	1200	9,2	0,3	2,37	67	2	17	932

GRANÍTICA	1100	6,2	4,2	2,22	83	4	13	546
	1150	8,1	1,1	2,32	79	3	14	906
	1200	8,4	0,5	2,34	77	2	14	862
CERÁMICA	1100	5,3	7,7	2,06	83	5	14	797
	1150	7,9	0,8	2,39	78	4	15	861
	1200	8,7	0,3	2,31	76	2	15	886
OLC-15	1100	4,7	10,6	2,04	71	11	23	205
	1150	8,1	3,2	2,29	60	8	19	464
	1200	9,1	0,8	2,35	58	4	16	806
PL-STD	1100	5,7	8,6	2,08	86	2	14	123
	1150	7,5	4,8	2,24	82	2	17	202
	1200	9,6	0,5	2,39	75	3	17	448

En el momento que disminuimos las partículas a tamaños más finos las propiedades físicas aumentan en gran manera, incluso doblando el valor de las resistencias mecánicas en algunos casos. También crece el valor de la densidad aparente tras cocción debido a la homogeneización. La relación que tiene la densidad y la absorción de agua se ve comparando las dos vías, en el momento que disminuimos el tamaño del grano, este compacta mejor evitando absorciones de agua y por lo tanto deja menos huecos, provocando un aumento de densidad. Y, finalmente, al compactar mejor, aumenta la contracción lineal de las piezas.

VÍA HÚMEDA CON FELDESPATO

Tabla 6 Análisis físico de las arcillas por vía húmeda con feldespato.

ARCILLA	T (°C)	CL (%)	AA(%)	Dapc (g/cm3)	L	a	b	RM(kg/cm2)
T1	1180	8,0	0,4	2,37	69	3	18	465
	1200	7,9	0,0	2,33	70	2	17	835
	1220	7,1	0,1	2,23	72	1	17	970
GRANÍTICA	1180	8,0	0,2	2,36	76	3	14	832
	1200	7,7	0,0	2,31	76	2	15	815
	1220	7,1	0,1	2,25	77	2	14	733
CERÁMICA	1180	8,3	0,0	2,39	75	3	15	358
	1200	8,1	0,1	2,30	75	1	15	414
	1220	7,5	0,1	2,34	77	1	15	454
OLC-15	1180	9,9	0,0	2,39	59	5	15	205
	1200	9,8	0,0	2,40	62	3	14	464
	1220	9,0	0,2	2,31	66	2	14	806
PL-STD	1180	10,6	0,3	2,50	74	3	17	540
	1200	10,2	0,2	2,33	74	2	16	518
	1220	9,8	0,1	2,24	76	2	16	267

En la vía húmeda con la adición de feldespato se observa que anula la absorción de agua debido a que la formación de la fase líquida provoca la vitrificación aumentando también la densidad tras la cocción. El intervalo de temperaturas es así debido a que el feldespato no funde hasta 1200°C.

La pasta final obtenida estaría compuesta de:

- 46% mezcla arcillosa
 - 20% “T1” / “Granítica”
 - 70% “Cerámica”
 - 30% “OLC-15”
 - 18%
 - 8% “PL-STD”
- 8% arena
- 46% feldespato

Antes de mostrar el resultado final de la pasta, se va a mostrar el comportamiento para la mezcla arcillosa.

Tabla 7. Análisis físico de las mezclas arcillosas por vía seca.

ARCILLA	T (°C)	CL (%)	AA (%)	Dapc (g/cm ³)	L	a	b	RM (kg/cm ²)
Mezcla 2	1100	3,0	11,0	1,89	81	6	15	314
	1150	6,1	5,1	2,12	76	6	16	408
	1200	6,9	2,2	2,28	71	3	13	457
Mezcla 3	1100	2,8	9,4	2,03	85	4	11	280
	1150	5,5	5,1	2,17	81	3	14	432
	1200	6,6	2,7	2,24	77	3	14	412

Tabla 8 Comparativa de propiedades entre las mezclas arcillosas.

ARCILLA	MEZCLA 2 (T1)	MEZCLA 3 (GRANÍTICA)
PPC(%)	6,8	6,6
IP (%)	35,74	34,40
CC (%)	0,19	0,18
SO4 (ppm)	482	312
R (125µm)	1,16	1,24
R (63µm)	2,78	3,56
X prensado (%)	9,3	9,5
Daps (g/cm3)	1,94	2,00
Mod.rot (kg/cm2)	64,1	59,6
Codigo	MP- BLANCA	MP-BLANCA

Tabla 9 Análisis físico de las mezclas arcillosas por vía húmeda.

ARCILLA	T (°C)	CL (%)	AA (%)	Dapc (g/cm ³)	L	a	b	RM (kg/cm ²)
mezcla 2	1100	5,3	6,4	2,13	78	8	19	443
	1150	8,3	0,9	2,31	70	5	18	804
	1200	8,7	0,3	2,42	68	2	16	843
mezcla 3	1100	4,9	6,9	2,13	83	5	14	503
	1150	8,0	1,0	2,30	77	3	16	567
	1200	8,4	0,3	2,38	74	2	15	734

Tabla 10 Análisis físico de las mezclas arcillosas por vía húmeda con feldespatos

ARCILLA	T (°C)	CL (%)	AA (%)	Dapc (g/cm ³)	L	a	b	RM (kg/cm ²)
mezcla 2	1180	8,7	0,0	2,30	68	4	17	649
	1200	8,5	0,5	2,30	70	3	16	780
	1220	7,5	0,2	2,24	72	2	16	757
mezcla 3	1180	8,1	0,0	2,31	72	3	15	666
	1200	7,8	0,3	2,30	73	2	15	658
	1220	7,0	0,1	2,22	76	1	15	482

Para todos los ensayos vistos anteriormente se ha realizado la curva para sólo tres temperaturas, mientras que para la pasta final se va a realizar un barrido mayor, pues es necesario saber que ocurre en cada mezcla en un intervalo inferior de temperaturas.

Los objetivos de la cocción son, como ya se ha señalado: la vitrificación de la masa (valores de absorción casi nula) y la estabilidad dimensional en el intervalo de la temperatura de cocción.

La consecución de estos objetivos depende de muchos factores, entre los cuales destacan:

- La reactividad entre los componentes de la pasta
- El grado de molienda de la barbotina
- La presión de conformación
- La temperatura y el ciclo de cocción

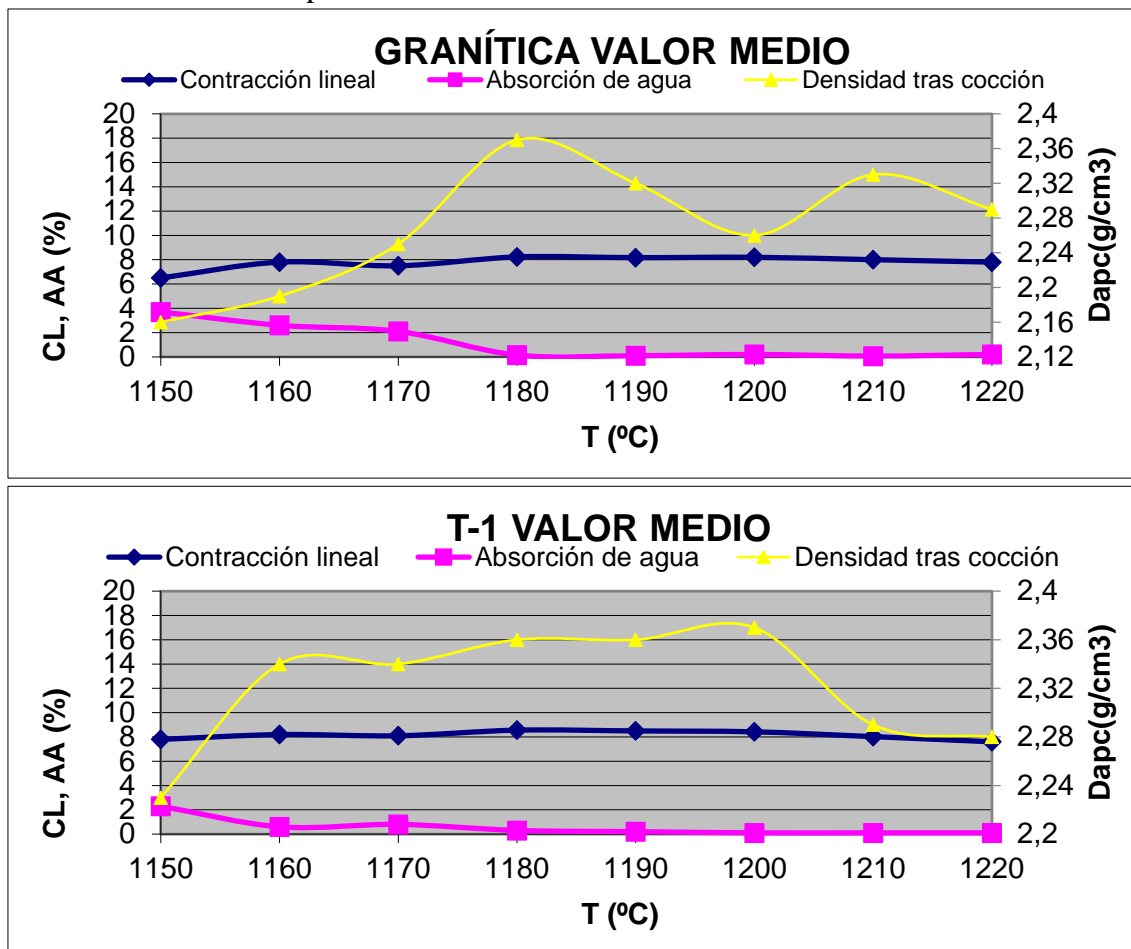
El grado óptimo de sinterización para las baldosas completamente gresificadas depende de la reactividad de los componentes arcillosos y de la acción sinérgica de vitrificación desarrollada por los feldespatos y por la fase vítrea que se ha ido formando gradualmente.

La compleja reacción de disociación de los retículos arcillosos, que parte de los flujos vítreos hasta formar un tejido compacto, está controlada por la energía térmica aportada durante la fase de cocción

Los recientes hornos diseñados para altas temperaturas, a través de sofisticados sistemas de control por microprocesador, permiten el mantenimiento de las condiciones

de cocción y, por lo tanto, de la temperatura preestablecida dentro de límites muy estrechos.

Como se lleva viendo todo el informe, todas muestras gresifican mejor a altas temperaturas y, por lo tanto, se contraen más evitando la absorción de agua. Se muestran las curvas de gresificación de la pasta final para ver que conforme aumenta la temperatura disminuye la absorción de agua y, por lo tanto, aumenta la contracción y la densidad en cocido, manteniéndose constante a lo largo del intervalo 1180-1220°C. Esto va a permitir que se pueda trabajar a 1200°C amortiguando un posible error del horno que provoque una variación en la temperatura deseada.



Estos errores de temperaturas son algo habituales; por ejemplo, en la prueba 1, se ve a simple vista que la probeta no se ha cocido lo suficiente a 1170°C, provocando que haya más absorción de agua y menos contracción que a 1160°C

En definitiva, ambas mezclas poseen las características propias de gres porcelánico, con absorciones de agua inferiores a 0,5%, densidades tras cocción en torno a 2,30g/cm³, índices de plasticidad superior a 30%, lo que se considera ya una arcilla muy plástica. Vemos pequeñas diferencias en las contracciones lineales (del orden del 6-8% como la mayor parte de formaciones industriales), pues la “mezcla 2” tiene mayores contracciones y, por lo tanto, la pasta final también; valor a tener en cuenta a la hora de trabajar, pues con la misma cantidad de arcilla obtenemos una pieza de menor tamaño. También poseen valores del módulo de rotura superiores la “mezcla 3” frente a la “mezcla 2” (ambas superan de sobra el valor que determina la norma europea para un

gres de porcelánico, 270kg/cm²). Por otra parte, la pasta final que usa la arcilla “granítica” mantiene un color más blanco que la que usa “T1”, pues individualmente, y después de las combinaciones, es más blanca.

Ahora se va a mostrar cual es el coste por tonelada de cada pasta para decidir cual se escoge.

- 20% de arcilla T1 → $0,20 \cdot 75 = 15,00 \text{ €}$
- 18% mezcla 1 (70% Cer 30% OLC-15) → $0,18 \cdot (0,70 \cdot 63 + 0,30 \cdot 28) = 9,45 \text{ €}$
- 8% de arcilla PL-STD → $0,08 \cdot 45 = 3,60 \text{ €}$
- 46% feldespatos → $0,46 \cdot 37 = 17,02 \text{ €}$
- 8% de arena → $0,08 \cdot 15 = 1,20 \text{ €}$

Valor final pasta final con arcilla T1 = 46,27€

- 20% de arcilla Granítica → $0,20 \cdot 85 = 17,00 \text{ €}$
- 18% mezcla 1 (70% Cer 30% OLC-15) → $0,18 \cdot (0,70 \cdot 63 + 0,30 \cdot 28) = 9,45 \text{ €}$
- 8% de arcilla PL-STD → $0,08 \cdot 45 = 3,60 \text{ €}$
- 46% feldespatos → $0,46 \cdot 37 = 17,02 \text{ €}$
- % de arena → $0,08 \cdot 15 = 1,20 \text{ €}$

Valor final pasta final con arcilla Granítica = 48,27€

Finalmente, se puede concluir que ambas pastas tienen las cualidades para un gres de porcelánico, siendo la que tiene de arcilla base la “T1” mas económica y, por lo tanto, la que se va a escoger para producir en cantidades industriales.

6 BIBLIOGRAFÍA

- ¹ SACMI, (2004) *“Tecnología cerámica aplicada”* Volumen 1. Asociación Española de Técnicos Cerámicos. Castellón de la Plana.
- ² Restrepo Baena, O.J. (2011) *“Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución.”* Trabajo fin de grado. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- ³ Cuellar Lozano, J. (2000) *“Desarrollo y caracterización de un gres porcelánico”*. Tesis. Universidad de Nuevo León.
- ⁴ Sánchez, C.J. (2001) *“Materias Primas y Métodos de Producción de Materiales Cerámicos”*. XVI Reunión Científica de la Sociedad Española de Arcillas. Baeza (Jaén), 22-26 octubre 2001.
- ⁵ SACMI, (2004) *“Tecnología cerámica aplicada”* Volumen 2. Asociación Española de Técnicos Cerámicos. Castellón de la Plana.
- ⁶ Herrera Herbert, J. (2007) *“Diseño de explotaciones de canteras”*. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Madrid.
- ⁷ Amorós, J.L., Sánchez E., Sanz V., Monzó M., García-Ten, J. (2004). *“Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas”*. Castellón. Instituto de Tecnología Cerámica.
- ⁸ *“La medida práctica del color.”* Universidad de La Rioja.

7 ANEXOS

7.1 ENSAYOS⁷

7.1.1 Determinación del contenido de carbonatos por calcímetro

Para la realización del siguiente ensayo van a ser necesarios:

- Calcímetro Bernard con bureta (± 0.2 ml)
- Balanza (± 0.01 g)
- Ácido clorhídrico 1:1
- Agua destilada

MUESTRA:

El ensayo se efectuará con una cantidad de muestra tal que produzca un desplazamiento en la bureta del calcímetro comprendido entre el 30 % y el 70 % del volumen total (100 mL normalmente). No obstante, la cantidad máxima de muestra por ensayo, aunque el volumen desplazado no se encuentre en dicho intervalo, será de 5 g, ya que una cantidad superior podría dificultar la dispersión del material en el agua.

El ácido clorhídrico 1:1 se prepara mezclando volúmenes iguales de ácido clorhídrico concentrado (35% en volumen) y agua destilada. La mezcla debe prepararse añadiendo cuidadosamente el ácido sobre el agua.

PROCEDIMIENTO

Inicialmente, se comprueba que las conexiones entre el Erlenmeyer (recipiente donde se introduce la muestra de volumen aproximado de 250ml), el tapón de cierre (que incluye en ocasiones un recipiente para el ácido clorhídrico 1:1 en volumen) y la bureta (graduada en ml), con la que se mide el desplazamiento provocado por el gas, no presentan pérdida de gases.

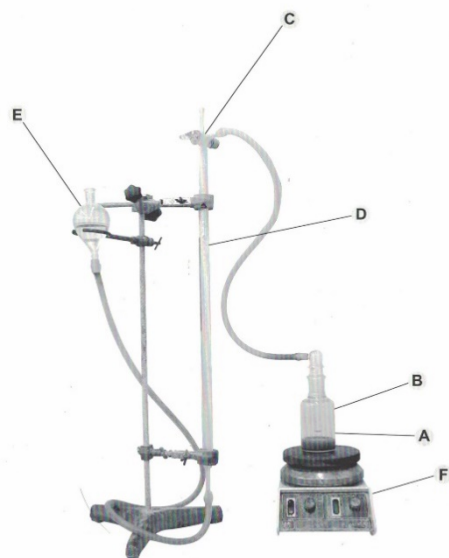
Una vez pesada la muestra (m_s), se introduce en el Erlenmeyer (A) y se añaden 15cm³ de agua destilada, se llena el recipiente correspondiente de ácido clorhídrico (B) y se cierra herméticamente. A continuación, se lleva la llave de paso (C) a la posición que conecta la bureta con el Erlenmeyer y se mide la lectura de la bureta (D), V_i , enrasando para ello el bulbo (E) que contiene el agua con la bureta. A continuación, se vierte el ácido clorhídrico sobre la muestra y se agita continuamente con un agitador magnético (F). La velocidad de agitación no debe ser muy grande, ya que podría originar salpicaduras o un calentamiento del medio, con la consiguiente modificación de los resultados al aumentar el volumen de gas desplazado, ni tampoco muy lenta pues entonces no se dispersará el material de forma adecuada.

El tiempo del ensayo será normalmente de 10 minutos. No obstante, se deberá comprobar que, una vez acabado el citado tiempo, no se produce un desplazamiento superior a 0,2 ml en la bureta ya que algunas muestras, debido a su escasa reactividad, pueden requerir más tiempo de ensayo.

La lectura se realiza enrasando el bulbo que contiene el agua con la bureta y se mide el volumen final, V_f .

Debe determinarse la temperatura en el interior del Erlenmeyer o, en su defecto, la temperatura ambiente. La temperatura no deberá ser en ningún caso superior a 25°C. No obstante, es recomendable que su valor se sitúe por debajo de 22°C.

Tanto el volumen inicial, V_i , el volumen final, V_f , el peso del material empleado, m_s , y la temperatura del ensayo, T , deberán anotarse en la hoja de laboratorio correspondiente.



RESULTADOS

El volumen desplazado por el CO_2 es:

$$V = V_f - V_i$$

Donde:

V = volumen de CO_2 desprendido (ml)

V_i = volumen inicial

V_f = volumen final

El porcentaje de carbonatos se calcula a partir de la ecuación:

$$C = K \cdot \frac{V}{m_s}$$

Donde:

C = contenido de carbonatos (%)

m_s = masa del sólido seco (g)

K = constante que varía con la temperatura, T , siendo $K=122/T$ (donde T viene dada en grados kelvin y se supone que todos los carbonatos son de calcio)

CONTENIDO DE CARBONATOS (%)

Referencia	ms (g)	Vi (ml)	Vf (ml)	V (ml)	C (%)
	5	0	2,3		
Valor Medio					0,18492

7.1.2 Determinación del residuo sobre el tamiz

El material necesario será:

- Balanza ($\pm 0.01\text{g}$)
- Recipiente cilíndrico de unos 250-500ml
- Recipientes de vidrio o porcelana de 100-250ml.
- Tamices de 63 y 125 μm .

PROCEDIMIENTO

En el recipiente cilíndrico de 250-500ml se vierten 100g de la barbotina obtenida, m_b , y se añaden 300ml de agua.

Posteriormente, se vierte todo el contenido del recipiente sobre el tamiz y se pasa a través del mismo, ayudándose para ello de agua, pero, teniendo siempre la precaución de que la presión de esta no sea tan elevada como para perder muestra por salpicaduras. La operación termina cuando el agua a la salida del tamiz esté totalmente clara.

Finalmente, el rechazo obtenido se coloca dentro de un recipiente de vidrio, previamente pesado, m_v , y se seca en el equipo de secado. Una vez secado, se pesa el recipiente de vidrio con el rechazo, m_r .

RESULTADOS

$$R = m_r - m_v$$

Donde:

R = rechazo

m_r = masa del recipiente con la barbotina

m_v = masa del recipiente vacío

RESIDUO SOBRE TAMIZ DE 63 y 125 (micras)

Referencia	mb (g)	CS (%)	mr (g)	R (%)
	138,97		139,95	
Valor Medio				0,98

7.1.3 Determinación de la plasticidad. método de Pfefferkorn.

El material necesario es el siguiente:

- Plasticímetro Pfefferkorn y molde
- Espátula
- Vasos de precipitados de 250cm³
- Balanza (± 0.01 g)
- Estufa de secado ($\pm 5^{\circ}\text{C}$)

MUESTRA

Se toman alrededor de 300 g de arcilla y se amasan con la cantidad de agua necesaria para que la consistencia de la masa resultante sea la adecuada para comenzar los ensayos

Con el objeto de que se complete su homogeneización, la masa se dejará en reposo durante al menos 24 horas.

PROCEDIMIENTO

El coeficiente de plasticidad determinado mediante este método, corresponde a la humedad que presenta una probeta cilíndrica cuando ésta sufre una deformación correspondiente a $r=3.3$ por impacto de un disco, cuyo peso global es de 1192g, lanzado desde una altura de 146mm.

Los pasos a seguir son:

Se levanta el punzón (D), manteniéndolo en dicha posición mediante la inserción del pasador en el agujero que hay en el árbol del punzón (A).

Se comprueba que el disco del punzón (B) se encuentra bien enroscado

Se recubre con una capa de aceite las dos superficies contrapuestas de los discos de metal, la del punzón (B) y el del molde (H).

Se introduce la plancha de cierre del molde cilíndrico (I) y se unta internamente el molde con un poco de aceite. Seguidamente, éste se llena con la muestra a ensayar, cuidando que no queden atrapadas burbujas de aire, y se alisa la superficie con la ayuda de una espátula

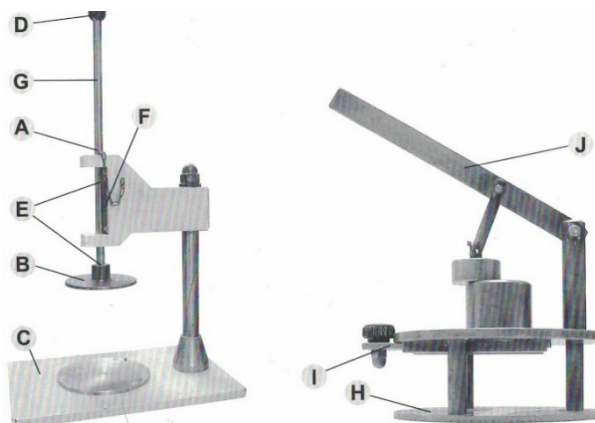
A continuación, se retira la plancha de cierre (I) y se extrae la muestra del molde ayudándose de la palanca (J), recogiendo la probeta sobre el disco. Este disco se separa del molde y se sitúa centrado sobre la plancha de soporte del plasticímetro (C).

Posteriormente, se coge con una mano el pomo esférico del punzón (D), usando la otra mano para soltar el pernio de fijado y se sube el punzón, sin soltarlo, hasta la máxima altura que permitan las guías (E). En este momento se deja caer libremente el punzón.

Se anota el valor, en milímetros, de la altura de la probeta deformada. Dicho valor viene indicado en la escala de medidas existente en el equipo (F), mediante la señal situada sobre el punzón (G). Normalmente, suele existir otra escala, en la que está indicado, sin necesidad de efectuar ulteriores cálculos, el factor de alturas, es decir, la razón entre las alturas de la muestra antes y después del ensayo. Esta escala, sin embargo, es menos precisa, por lo que se considera más conveniente utilizar la primera.

Posteriormente se pesa un vaso totalmente seco y se introduce el molde deformado y húmedo, volviéndose a pesar.

El ensayo se repite al menos cuatro veces, secando para ello la muestra al ambiente, con el propósito de que el factor de alturas, r , en los sucesivos ensayos, vaya disminuyendo. Se aconseja obtener dos de estos valores por encima de $r=3.3$ y otros dos por debajo.



RESULTADOS

El contenido de humedad de las muestras se calcula a partir de la expresión:

$$H = \frac{m_{v+sh} - m_{v+ss}}{m_{v+ss} - m_v} \cdot 100$$

Donde:

H = contenido de agua de la muestra (%)

m_{v+sh} = masa vaso + masa sólido húmedo (g)

m_{v+ss} = masa vaso + masa sólido seco (g)

m_v = masa vaso (g)

Por otro lado, el factor de alturas se determina a partir de la expresión:

$$r = \frac{h_0}{h_f}$$

Donde:

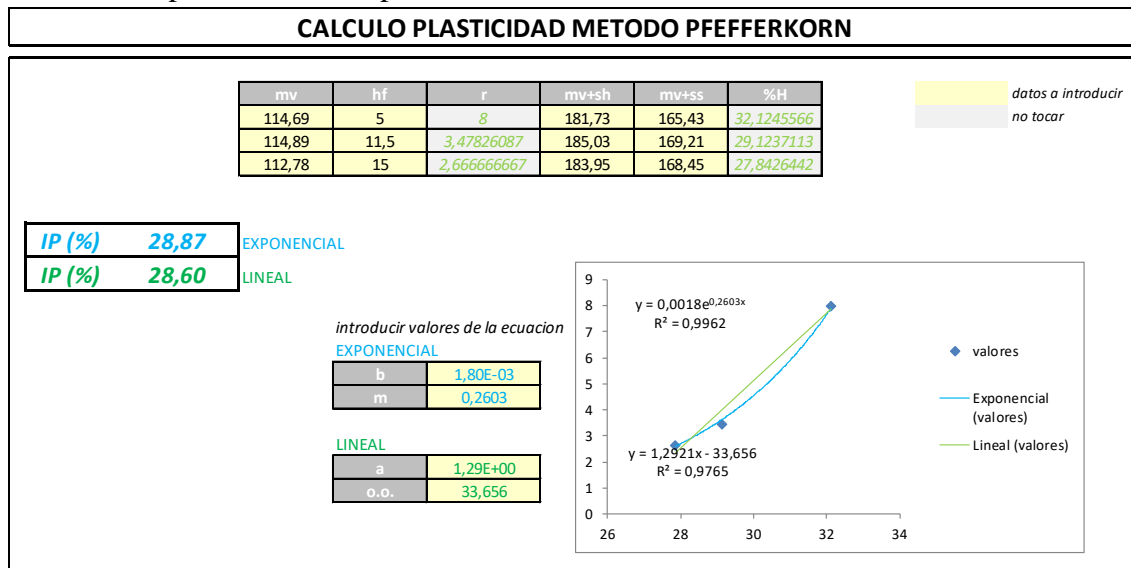
r = factor de alturas

h_0 = altura inicial de la probeta, la cual es fija y vale 40 mm.

h_f = altura de la probeta deformada (mm)

Finalmente se representan las coordenadas cartesianas el factor de alturas en función del contenido de humedad de las probetas expresado en porcentaje, obteniéndose una curva. La abscisa del punto de intersección del valor de la ordenada $r=3.3$ con dicha curva nos proporcionará el índice de plasticidad.

El índice de plasticidad se expresará en %.

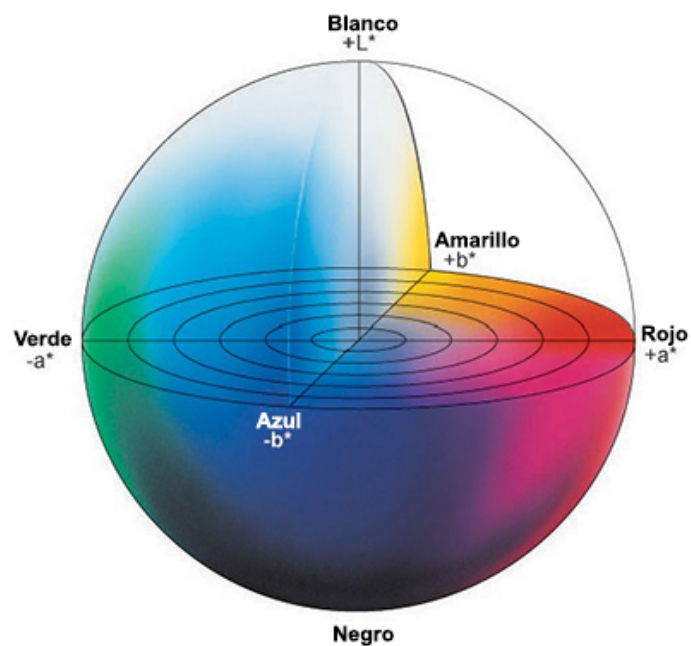


7.1.4 Determinación de las coordenadas cromáticas de probetas cocidas (CIELAB)⁸

El espacio CIELAB está adaptado también como norma UNE, y en él se definen unas magnitudes colorimétricas que se derivan matemáticamente de los valores triestímulo y pueden considerarse una respuesta de los observadores patrones a un estímulo luminoso. Tratando de imitar a los observadores reales, estas respuestas se hacen depender del tipo de estímulo y del blanco de referencia.

El espacio de color CIELAB es un sistema coordenado cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas L^* , a^* , b^*

La coordenada L^* recibe el nombre de Claridad y puede tomar valores entre 0 y 100, para estímulos independientes toma siempre el valor 100 y no sirve para su especificación. La medida práctica del color- 12 - Las coordenadas colorimétricas a^* y b^* forman un plano perpendicular a la Claridad. La coordenada a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la Claridad, hacia el rojo si $a^* > 0$, hacia el verde si $a^* < 0$. Análogamente la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo si $b^* > 0$, hacia el azul si $b^* < 0$, como muestra la figura.



7.1.5 Determinación de la contracción de cocción

$$CL = \frac{L_S - L_C}{L_S} \cdot 100$$

CL = contracción lineal (%)

L_S = diámetro o longitud de la probeta seca (g)

L_C = diámetro o longitud de la probeta cocida (g)

7.1.6 Determinación de la absorción de agua

$$AA = \frac{m_a - m_c}{m_c} \cdot 100$$

AA = absorción de agua (%)

m_a = masa de la probeta húmeda (g)

m_c = masa de la probeta cocida (g)

7.1.7 Determinación del contenido de humedad

$$H = \frac{m_h - m_s}{m_h} \cdot 100$$

H = contenido de humedad en base seca (%)

m_h = peso del sólido húmedo (g)

m_s = peso del sólido seco (g)

7.1.8 Determinación de la pérdida por calcinación

$$PPC = \frac{m_s - m_c}{m_s} \cdot 100$$

PPC = pérdida por calcinación (%)

m_s = peso del sólido seco (g)

m_c = masa de la probeta cocida (g)

mh (g)	ms (g)	Hs (%)	es (cm)	Daps (g/cm ³)	Ls (cm)	Lc (cm)	CL (%)	mc (g)	PPC (%)	ec (cm)	Dapc (g/cm ³)	ma (g)	AA (%)	T (°C)
21,16	19,57	8,12468	5,12	0,001922959	50,32	48,09	4,431638	18,06	7,71589	5,04	0,001973822	19,79	9,57918	1100
21,93	20,23	8,40336	5,47	0,00186062	50,32	46,48	7,631161	18,64	7,85961	4,96	0,002215962	19,53	4,77468	1150
21,64	20,03	8,03794	5,36	0,001880032	50,32	45,72	9,141494	18,43	7,98802	4,80	0,002339925	18,60	0,92241	1200
		8,18866		0,00188787					7,85451					

7.1.9 Preparación de materias primas arcillosas por vía seca

Van a ser necesarios los siguientes equipos:

- Estufa de secado ($\pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Triturador de mandíbulas con cuarteador.
- Molino de martillos

MUESTRA

La muestra debe encontrarse suficientemente seca para su procesado. Si la muestra se tiene que someter únicamente a trituración, la humedad no debe ser superior a 10% (en base seca), dependiendo del material a ensayar, ya que en caso contrario la arcilla se adhiere a las paredes del equipo, dificultando la realización de esta operación.

Así pues, cuando ésta se halle muy húmeda, se realizará un secado previo a temperatura que no supere los 110°C .

Si la muestra tiene que ser sometida a una molienda vía seca, ésta deberá encontrarse prácticamente seca. En este caso, el periodo de secado será en general de 24 horas.

PROCEDIMIENTO

Trituración: La trituración y cuarteo se realizará en un triturador de mandíbulas o en equipo similar. Previamente a la trituración, deben limpiarse perfectamente las muelas del triturador y el cajón de recogida de muestra para evitar su posible contaminación.

De no disponer de un equipo de trituración, esta operación puede realizarse manualmente con la ayuda de una maza o martillo.

Molienda vía seca: Se realizará en un molino de martillos o en un equipo similar. El material a molturar no debe presentar un tamaño superior a 2 cm, en caso contrario, se debe someter a una trituración previa.

El tamiz de salida empleado dependerá del parámetro de calidad que se quiera determinar.

7.1.10 Preparación de materias primas arcillosas por vía húmeda.

El equipo necesario es el siguiente:

- Estufa ($\pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Molino de bolas planetario de laboratorio.
- Jarras de 1000ml de capacidad aproximadamente.
- Bolas de alúmina de 15-20mm de diámetro
- Bandeja de cristal.

MUESTRA

En general, como paso previo a la preparación vía húmeda, la arcilla se someterá a una molienda por vía seca. El tamaño máximo de los aglomerados obtenidos no deberá superar en ningún caso los 4mm.

PROCEDIMIENTO

Para molturar la muestra vía húmeda se empleará la siguiente carga, preparando dos muestras diferentes:

La primera; 250 gramos de arcilla, 250 gramos de agua y 5 ml de desfloculante.

La segunda; 150 gramos de arcilla, 150 gramos de feldespatos, 200 gramos de agua y 3 ml de desfloculante.

En general, el tiempo de molienda será el mismo para todas las arcillas, dependiendo de la intensidad del molino empleado (30 minutos)

Una vez finalizados los 30 minutos, se vierte la barbotina obtenida en una bandeja de cristal, para su posterior secado a una temperatura no superior a los 110°C mediante el equipo de secado hasta que la humedad del material obtenido sea tal que permita su desmenuzamiento. El tamaño de los aglomerados máximo no deberá superar 1mm.

7.1.11 Conformado de probetas por prensado.

El equipo necesario es el siguiente:

- Humectador o pistola de pulverización
- Ventilador
- Balanza ($\pm 0,1$ g)
- Prensa de laboratorio con moldes (± 5 bares)

MUESTRA

La cantidad de muestra necesaria dependerá del número de proveas a conformar, del diámetro interno del molde (4-5cm) y de su espesor (0,7-0,8cm).

PROCEDIMIENTO

Una vez preparada la muestra, se procede al cálculo de su contenido en humedad, H_i (%)

La cantidad de agua, A (g), que se debe añadir a la muestra para que ésta posea el porcentaje de humedad deseado, H_f (%), se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{1 + \frac{H_f}{100}}{1 + \frac{H_i}{100}} - m$$

Donde m es la masa inicial de la muestra seca expresada en gramos.

Una vez humedecida la muestra, se le hace pasar por un tamiz de 1,4 mm a la arcilla preparada por vía seca y por un tamiz de 1 mm a la arcilla preparada por vía húmeda con el fin de obtener homogeneización. En general, las muestras de arcilla se acondicionarán a un contenido de humedad en torno al 9 %.

Para el prensado, la altura del molde se modificará con el objeto de que las probetas obtenidas tengan un espesor de 0,7 – 0,8 cm.

Finalmente, se vierte en la bandeja del molde la cantidad de material que se considere necesaria para conformar una probeta a juicio del operador y, con la ayuda de una paleta se llena el molde. Dicha cantidad no debe ser mucho mayor que la necesaria para conformar la probeta, debido a que, si el material permanece fuera de la bolsa durante un periodo de tiempo excesivamente prolongado, su contenido en humedad disminuye de manera apreciable.

En general, las muestras de arcilla se prensan a 50 bar de presión. El tiempo de permanencia a presión será aproximadamente de 3 segundos.

Para la probeta de corazón negro, la presión será de 100 bar y se preparará con un espesor de 2cm aproximadamente.

7.2 CONTROL DE CALIDAD MATERIAS PRIMAS

7.2.1 Arcilla “T1”

Documento 1.

7.2.2 Arcilla “Granítica”

Documento 2.

7.2.3 Arcilla “OLC-15”

Documento 3.

7.2.4 Arcilla “Cerámica”

Documento 4.

7.2.5 Arcilla “PL-STD”

Documento 5.

7.2.6 Arcilla “mezcla 1” (70 % “Cerámica”, 30 % “OLC-15”)

Documento 6.

7.2.7 Arcilla “mezcla 2” (45 % “T1”, 40 % “mezcla 1”, 15 % “PL-STD”)

Documento 7.

7.2.8 Arcilla “mezcla 3” (45 % “Granítica”, 40 % “mezcla 1”, 15 % “PL-STD”)

Documento 8.

7.2.9 Pasta final con “T1”

Documento 9.

7.2.10 Pasta final con “Granítica”

Documento 10.

7.2.11 Arena y feldespatos

Documento 11.

7.3 ABREVIACIONES.

FTO: Feldespato

CER: cerámica

mh: masa del sólido en húmedo

ms: masa del sólido en seco

Hs: humedad del sólido

es: espesor del sólido

Daps: densidad aparente en seco

Ls: longitud en seco

Lc: longitud en cocido

CL: contracción lineal

mc: masa del sólido tras cocción

PPC: pérdidas por calcinación

Dapc: Densidad aparente tras cocción
ma: masa del sólido tras absorción de agua
AA: absorción de agua
T: temperatura
STD: estándar
B: Blanca
MP: Muy plástica