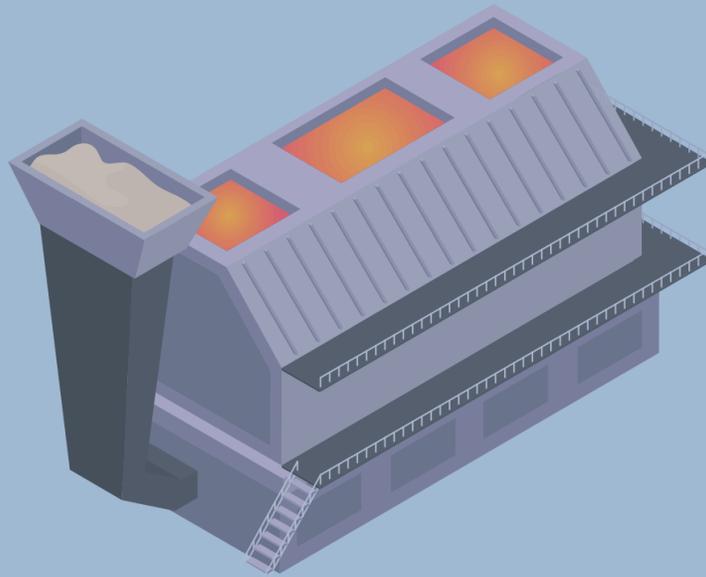


PROCESOS Y PRODUCTOS DE VIDRIO Y CERÁMICA



TEMARIO OFICIAL ACTUALIZADO

38. Metodología para la formulación y optimización de composiciones de fritas y esmaltes cerámicos.

Introducción

En la industria cerámica, las fritas y esmaltes constituyen elementos esenciales que aportan al producto final no solo un valor estético, sino también protección funcional frente a agentes químicos, mecánicos o ambientales. Estos recubrimientos vítreos, aplicados sobre soportes cocidos o crudos, deben cumplir requisitos específicos de brillo, color, transparencia, opacidad, resistencia y compatibilidad térmica. Para lograr estos objetivos, es imprescindible disponer de una metodología precisa de formulación y optimización que garantice la calidad, estabilidad y rendimiento de las composiciones utilizadas.

La formulación de fritas y esmaltes se basa en el conocimiento de las materias primas y su función en la red vítrea: formadores, modificadores y estabilizadores deben combinarse en proporciones técnicas que aseguren una fusión completa, una textura adecuada y unas propiedades físicas y químicas constantes. Esta tarea requiere integrar el análisis químico, térmico y funcional de los componentes, así como el dominio de técnicas como el cálculo por composición en óxidos, el uso de diagramas de equilibrio y la experimentación sistemática en laboratorio.

La optimización, por su parte, implica adaptar la composición a los requerimientos de proceso (temperatura de cocción, tipo de aplicación, atmósfera del horno) y del producto final (color, textura, resistencia), así como introducir criterios de mejora continua vinculados a la eficiencia energética, la reducción de defectos o la sostenibilidad de los materiales empleados. En un entorno cada vez más regulado y competitivo, esta capacidad de diseño técnico se convierte en un factor estratégico para la innovación y el posicionamiento del sector.

En este contexto, la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional refuerzan la importancia del desarrollo de las competencias del alumnado para mejorar su potencial de empleabilidad. La capacitación en formulación de fritas y esmaltes proporciona al futuro profesional un conocimiento altamente especializado, directamente aplicable en laboratorios, líneas de producción, departamentos de I+D y control de calidad dentro de la industria cerámica.

A lo largo del presente tema se abordarán las fases metodológicas para la formulación y optimización de composiciones vitrificadas, desde el análisis de materias primas hasta el ajuste funcional del esmalte, con una visión integral orientada a la aplicación técnica, la eficiencia productiva y la mejora continua.

Metodología para la formulación y optimización de composiciones de fritas y esmaltes cerámicos

Fundamentos técnicos de la formulación vítrea

La formulación de fritas y esmaltes cerámicos se basa en la creación de un sistema vítreo que cumpla con funciones decorativas y protectoras sobre un soporte cerámico. Este sistema debe ser estable durante el proceso de fusión, aplicable en condiciones industriales y capaz de desarrollar, tras la cocción, propiedades ópticas, térmicas y químicas determinadas. Para ello, la formulación parte del conocimiento preciso de los **óxidos funcionales** y del papel que desempeñan en la estructura del vidrio.

Los componentes fundamentales se agrupan en:

- **Formadores de red:** como el SiO_2 y el B_2O_3 , que constituyen la base estructural del vidrio.
- **Modificadores de red:** óxidos alcalinos y alcalinotérreos (Na_2O , K_2O , CaO , MgO , etc.), que reducen el punto de fusión y modifican la fluidez y la expansión térmica.
- **Estabilizadores:** como Al_2O_3 y ZrO_2 , que mejoran la resistencia química, la dureza superficial y la opacidad.
- **Pigmentos cerámicos y opacificantes,** que confieren color, textura y efectos visuales al esmalte final.

El equilibrio entre estos grupos es crucial. Una formulación eficaz debe garantizar la compatibilidad térmica con el soporte, la estabilidad en cocción, la adhesión del esmalte y el comportamiento mecánico y estético requerido.

Etapas en la formulación de fritas

La frita es el resultado de la fusión de una mezcla de materias primas en estado sólido, seguida de un enfriamiento brusco que impide la cristalización y da lugar a una masa vítrea amorfa. La formulación de fritas implica:

1. **Cálculo de la composición en óxidos:** se realiza en base a los análisis químicos de las materias primas. Cada óxido se expresa en porcentaje molar o en porcentaje en peso, permitiendo controlar la relación entre formadores, modificadores y aditivos.
2. **Diseño de la fórmula teórica:** se definen las proporciones adecuadas de materias primas (sílice, feldespato, carbonatos, boratos, etc.) para alcanzar la composición deseada. En esta fase, se consideran también aspectos como la densidad del fundido,

la viscosidad y el coeficiente de expansión térmica.

3. **Preparación y fusión en horno de laboratorio:** la mezcla se funde en crisoles de alúmina o platino a temperaturas entre 1100 y 1500 °C. Posteriormente, se realiza el choque térmico en agua o rodillos metálicos para solidificar el vidrio.
4. **Ensayos de validación de la frita:** incluyen pruebas de solubilidad, expansión térmica, coloración tras cocción, homogeneidad y estabilidad frente a pigmentos. Estos parámetros determinan si la frita es apta para su molturación y aplicación como esmalte.

Metodología de formulación de esmaltes

El esmalte se obtiene mediante la molienda de fritas, a menudo en combinación con pigmentos, opacificantes y aditivos reológicos. Su formulación se orienta a lograr un equilibrio entre comportamiento durante la aplicación y propiedades tras la cocción.

Los pasos metodológicos habituales son:

- **Selección de frita base:** en función del tipo de soporte (poroso o no poroso), temperatura de cocción, compatibilidad térmica y efecto estético deseado.
- **Ajuste de la composición final:** se incorporan aditivos como óxidos metálicos, tierras opacificantes (SnO_2 , ZrO_2), o pigmentos cerámicos estables. La proporción de cada componente afecta el brillo, la transparencia, la opacidad y el color del esmalte.
- **Molienda húmeda:** se realiza en molinos de bolas con medio cerámico o alúmina, hasta alcanzar una distribución granulométrica inferior a 45 micras. Se controla la densidad, viscosidad y estabilidad de la suspensión.
- **Pruebas de aplicación:** mediante pistola aerográfica, serigrafía, inmersión o cortina, se verifica la homogeneidad del recubrimiento, su capacidad de adherencia, el espesor adecuado y la respuesta en cocción.
- **Evaluación del comportamiento cocido:** se analiza la textura superficial, la reacción con el soporte, la aparición de defectos (pinholes, burbujas, escurridos), la evolución del color y la resistencia química.

Optimización funcional y sostenibilidad

La optimización de composiciones vítreas busca no solo mejorar las propiedades técnicas, sino también adaptar los esmaltes a nuevas condiciones de proceso y criterios de sostenibilidad. Para ello se emplean:

- **Herramientas de simulación** que permiten predecir el comportamiento de composiciones a partir de sus parámetros físico-químicos.
- **Diseños experimentales (DOE)** para reducir el número de pruebas necesarias y obtener combinaciones óptimas de componentes.
- **Substitución de materias primas críticas o contaminantes**, como plomo, flúor o bario, por alternativas más seguras y sostenibles.
- **Reducción de temperatura de fusión y cocción**, con el fin de disminuir el consumo energético y las emisiones de gases.

Estos enfoques permiten formular esmaltes adaptados a las normativas ambientales actuales, a la vez que se mejora la rentabilidad y el rendimiento de los procesos industriales.

El dominio de esta metodología no solo implica conocer los fundamentos químicos y técnicos del sistema vítreo, sino también adquirir una visión estratégica orientada al diseño de soluciones cerámicas innovadoras, sostenibles y con alto valor añadido. Este conocimiento especializado sienta las bases para comprender su importancia formativa y profesional en el ámbito de la industria cerámica contemporánea.

Conclusión

La formulación y optimización de composiciones de fritas y esmaltes cerámicos constituye un proceso técnico clave en la industria cerámica, donde confluyen conocimientos de química de materiales, comportamiento térmico, estética superficial y procesos de aplicación. Dominar esta metodología permite diseñar recubrimientos vítreos funcionales, seguros, eficientes y estéticamente adaptados a múltiples tipos de productos cerámicos, desde pavimentos y revestimientos hasta cerámica sanitaria o técnica.

La formulación parte de una comprensión profunda de las funciones que desempeñan los distintos óxidos en la red vítrea, así como de la interacción entre materias primas y aditivos durante las etapas de fusión, molienda, aplicación y cocción. La integración de herramientas como el cálculo por composición en óxidos, los diagramas de equilibrio, los ensayos de laboratorio y las pruebas de aplicación industrial permite ajustar composiciones con un alto grado de precisión y previsibilidad. Esto se traduce en una mejora del rendimiento técnico, una reducción de defectos y un mayor control sobre las propiedades finales del esmalte.

Por otro lado, la optimización no puede desvincularse de los retos actuales de sostenibilidad y eficiencia energética. El diseño de fritas con menor temperatura de fusión, la sustitución de materias primas críticas, la reducción de emisiones o la adaptación a normativas medioambientales forman parte de una visión más amplia, en la que el técnico cerámico actúa como agente clave de innovación responsable y mejora continua.

En el ámbito de la Formación Profesional, estas competencias aportan un valor añadido significativo al perfil del alumnado, preparándolo para intervenir de forma activa en entornos productivos complejos, en laboratorios de formulación, departamentos de I+D y áreas de control de calidad. El desarrollo de proyectos prácticos, análisis comparativos de esmaltes, formulaciones experimentales o simulaciones de cocción permite una aplicación directa del conocimiento técnico, reforzando el aprendizaje significativo y la conexión con la realidad industrial.

En definitiva, la capacidad para formular y optimizar composiciones vitrificadas convierte al profesional cerámico en un perfil técnico esencial para una industria que demanda productos de alta calidad, adaptabilidad estética, funcionalidad avanzada y compromiso con la sostenibilidad. Este saber especializado constituye una herramienta formativa y profesional imprescindible para afrontar los desafíos presentes y futuros del sector cerámico.

Bibliografía

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 340, 30 de diciembre de 2020.

Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional

DeGarmo, E. P. (1994). *Materiales y procesos de fabricación* (J. Vilardell Coma, Trad.; 2ª ed.). Editorial Reverté. (Obra original publicada en inglés como *Materials and Manufacturing Processes*)

Hooson, D., & Quinn, A. (2016). *Guía completa del taller de cerámica: Materiales, procesos y sistemas de conformación*. Promopress.

Morales Güeto, J. (2013). *Tecnología de los materiales cerámicos*. Ediciones Díaz de Santos.

Morales Güeto, J. (2012). El proceso de elaboración cerámico. En *Tecnología de los materiales cerámicos* (pp. 237-294). Ediciones Díaz de Santos.

Teijeira Pernas, T. (2015). *Fiabilidad y sistemas de control en la fabricación de pastas y de productos cerámicos conformados (MF0668_3)*. Editorial Elearning S.L.

Verdeja González, L. F. (2008). *Materiales refractarios cerámicos* (Vol. 24). Síntesis.