



Procesamiento de materiales cerámicos fundidos: vidrio plano y lana de vidrio

Apellidos, nombre	Muñoz Portero, María José (mjmunoz@iqn.upv.es)
Departamento	Ingeniería Química y Nuclear
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a describir y comparar el **procesamiento de distintos materiales cerámicos fundidos**, como es el caso del vidrio plano y la lana de vidrio. Todo ello lo veremos a través de ejemplos prácticos para facilitar el aprendizaje de los conceptos básicos descritos en el presente documento.

2 Objetivos

Una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Describir el procesamiento de distintos materiales cerámicos fundidos.
- Comparar el procesamiento de distintos materiales cerámicos fundidos.

3 Introducción

Los materiales cerámicos fundidos son materiales inorgánicos obtenidos mediante un tratamiento térmico de fusión de las materias primas y posterior enfriamiento. Ejemplos de materiales cerámicos fundidos son los vidrios y las vitrocerámicas. Los **vidrios** son productos inorgánicos fundidos que se han enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización. Por tanto, los vidrios presentan **estructura amorfa o no cristalina**. Las **vitrocerámicas** se conforman inicialmente como los vidrios, pero posteriormente se someten a un tratamiento térmico, de manera que el producto final presenta un **90-98 % de estructura cristalina** y el resto es material vítreo no convertido.

Las **propiedades generales** de los materiales cerámicos fundidos son:

- 1) **Ópticas:** transparencia, color y reflexión.
- 2) **Mecánicas:** indeformabilidad y resistencia a la abrasión.
- 3) **Térmicas:** aislamiento térmico y resistencia al fuego.
- 4) **Acústicas:** aislamiento acústico.
- 5) **Químicas:** estabilidad y resistencia al ambiente.
- 6) **Eléctricas:** aislamiento eléctrico.

El vidrio puede presentar distintas formas: vidrio hueco, vidrio plano, vidrio colado, vidrio prensado y vidrio en fibras. En la Figura 1 puedes ver un organigrama con las diferentes formas y procesos de fabricación del vidrio.

En este documento vamos a ver el procesamiento de los materiales cerámicos fundidos, para el caso concreto de los vidrios.

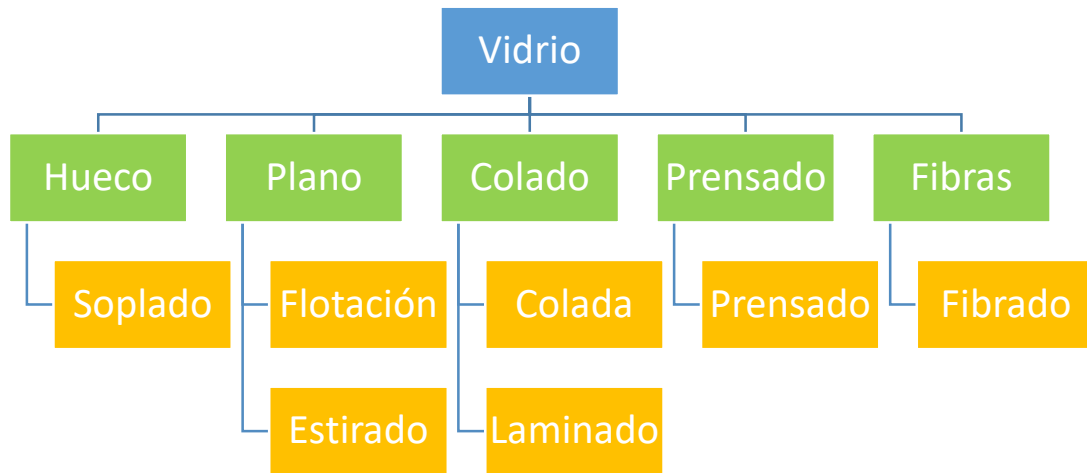


Figura 1. Organigrama con las diferentes formas y procesos de fabricación del vidrio.

4 Desarrollo

Ahora vamos a ver como se realiza el procesamiento de los materiales cerámicos fundidos, para el caso de los vidrios. Para ello vamos a describir el procesamiento de distintos materiales cerámicos fundidos, como son el vidrio plano y la lana de vidrio. Finalmente, vamos a realizar una comparación entre el procesamiento de los distintos materiales cerámicos fundidos.

4.1 Procesamiento de materiales cerámicos fundidos: vidrios

Las **materias primas** utilizadas en el procesamiento del vidrio son:

- 1) **Arena de cuarzo, rica en sílice (SiO_2):** es el elemento vitrificador y el que constituye verdaderamente el vidrio, proporcionando resistencia mecánica al vidrio.
- 2) **Caliza, fuente de óxido de calcio (CaO):** actúa de estabilizador aportando también resistencia, dureza y brillo.
- 3) **Carbonato sódico, fuente de óxido de sodio (Na_2O):** actúa de fundente, rebajando el punto de fusión de la sílice desde los $1700\text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $850\text{ }^\circ\text{C}$.
- 4) **Otros ingredientes:** como el mineral litargirio, fuente de óxido de plomo (PbO), o el bórax, fuente de óxido de boro (B_2O_3), que proporcionan al vidrio determinadas propiedades físicas.
- 5) **Vidrio reciclado:** la proporción puede llegar hasta un 100% , dependiendo de la cantidad de desechos de vidrio disponibles y de las especificaciones de la composición final. Además de preservar el ambiente, el reciclado del vidrio facilita la fusión.

La secuencia del proceso de fabricación del vidrio incluye las siguientes etapas, tal como puedes ver en la Figura 2:

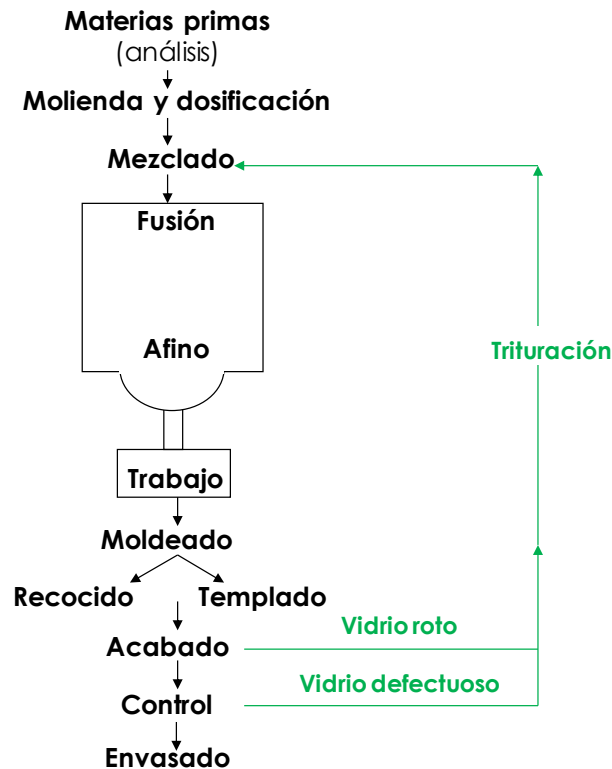


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del vidrio.

- 1) **Preparación de las materias primas.** Las principales operaciones de preparación de las materias primas son: análisis, molienda, dosificación y mezclado.
 - **Análisis:** las materias primas deben ser analizadas y luego, con arreglo a su composición, se hace la dosificación correspondiente al crudo del vidrio.
 - **Molienda:** reducción del tamaño de partícula a polvo de las materias primas existentes en la naturaleza.
 - **Dosificación:** pesada de las materias primas automáticamente.
 - **Mezclado:** las materias primas se mezclan perfectamente formando el crudo del vidrio. La mezcla se realiza con frecuencia en bombos rotativos, con duración de 5 a 15 minutos. La mezcla, ya homogeneizada, se transporta al horno para su fusión.
- 2) **Fusión.** Etapa en la que las materias primas se convierten en un vidrio fundido homogéneo de propiedades uniformes. La temperatura de fusión del vidrio oscila entre 1400-1500 °C. Un ciclo de fusión dura de 24-48 horas. Este es el tiempo requerido para que todos los granos de arena se conviertan en un líquido claro, y el vidrio fundido se refine y enfríe a la temperatura apropiada de trabajo. El vidrio fundido es un líquido viscoso, cuya viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura. Como las operaciones de conformado se realizan inmediatamente después del ciclo de fusión, la temperatura a la que debe sacarse el vidrio del horno depende de la viscosidad requerida en el siguiente proceso.



Los **tipos de hornos** usados para la fusión del vidrio son: hornos de crisoles, hornos de balsa o tanque y hornos continuos, siendo estos últimos los más utilizados en la industria. En ellos el material pasa por tres zonas: 1) fusión, 2) afino y 3) trabajo (homogeneización y acondicionamiento).

- 3) **Conformado o moldeado.** Etapa en la que se le da forma a la pieza. Para dar forma a un objeto de vidrio es necesario que la masa vítrea de que se parte tenga una viscosidad determinada, o lo que es lo mismo, su temperatura debe mantenerse dentro de unos límites determinados pero distintos según el procedimiento de moldeo que se vaya a seguir. Los procesos de conformado del vidrio se dividen en las siguientes categorías:
 - **Procesos de conformado de piezas discretas de vidrio:** soplado (forma artesanal y forma mecánica) y prensado.
 - **Procesos de conformado de vidrio plano y tubular:** flotación, estirado, colada y laminado.
 - **Procesos de conformado de fibras de vidrio:** fibrado.
- 4) **Tratamiento térmico.** Una vez que la pieza de vidrio ha sido moldeada, debe ser sometida a los tratamientos térmicos necesarios según la utilización que se le vaya a dar. Los tipos de tratamientos térmicos del vidrio son: recocido y templado.
 - **Recocido:** consiste en el calentamiento del vidrio a una temperatura elevada, manteniéndolo en esas condiciones por un cierto tiempo para eliminar las tensiones internas y los gradientes de temperatura. Finalmente, se somete a un **enfriamiento lento** para suprimir la formación de tensiones internas, seguido de un enfriamiento más rápido hasta la temperatura ambiente.
 - **Templado:** consiste en el calentamiento del vidrio a una temperatura superior a su temperatura de recocido dentro del rango plástico. Posteriormente, se realiza un **enfriamiento rápido** de la superficie, que se realiza con un chorro de aire generalmente. Al enfriarse la superficie se contrae y endurece, mientras el interior está todavía en una condición plástica. Al enfriarse lentamente, el vidrio interno se contrae, provocando que la superficie dura quede en compresión. El vidrio templado es mucho más resistente al rayado y a la rotura que el vidrio recocido, debido a los esfuerzos de compresión en su superficie.
- 5) **Acabado.** Los productos de vidrio requieren algunas veces operaciones de acabado. Las principales operaciones de acabado son: esmerilado, pulido y corte. El vidrio roto durante la operación de corte, se tritura y se incorpora en la etapa de mezclado.
- 6) **Control.** El vidrio se somete a un control de calidad para detectar posibles defectos en las piezas. El vidrio defectuoso se tritura y se incorpora en la etapa de mezclado.
- 7) **Envasado.** Finalmente, se realiza el envasado y expedición del vidrio.

A continuación, vamos a ver dos ejemplos de procesamiento del vidrio. El primer ejemplo corresponde al procesamiento del vidrio plano y el segundo ejemplo corresponde al procesamiento de la lana de vidrio (aislante de fibra de vidrio).

En la Figura 3 puedes ver las etapas del proceso de fabricación del vidrio plano.

Materias primas minerales: arena de cuarzo, carbonato sódico y caliza

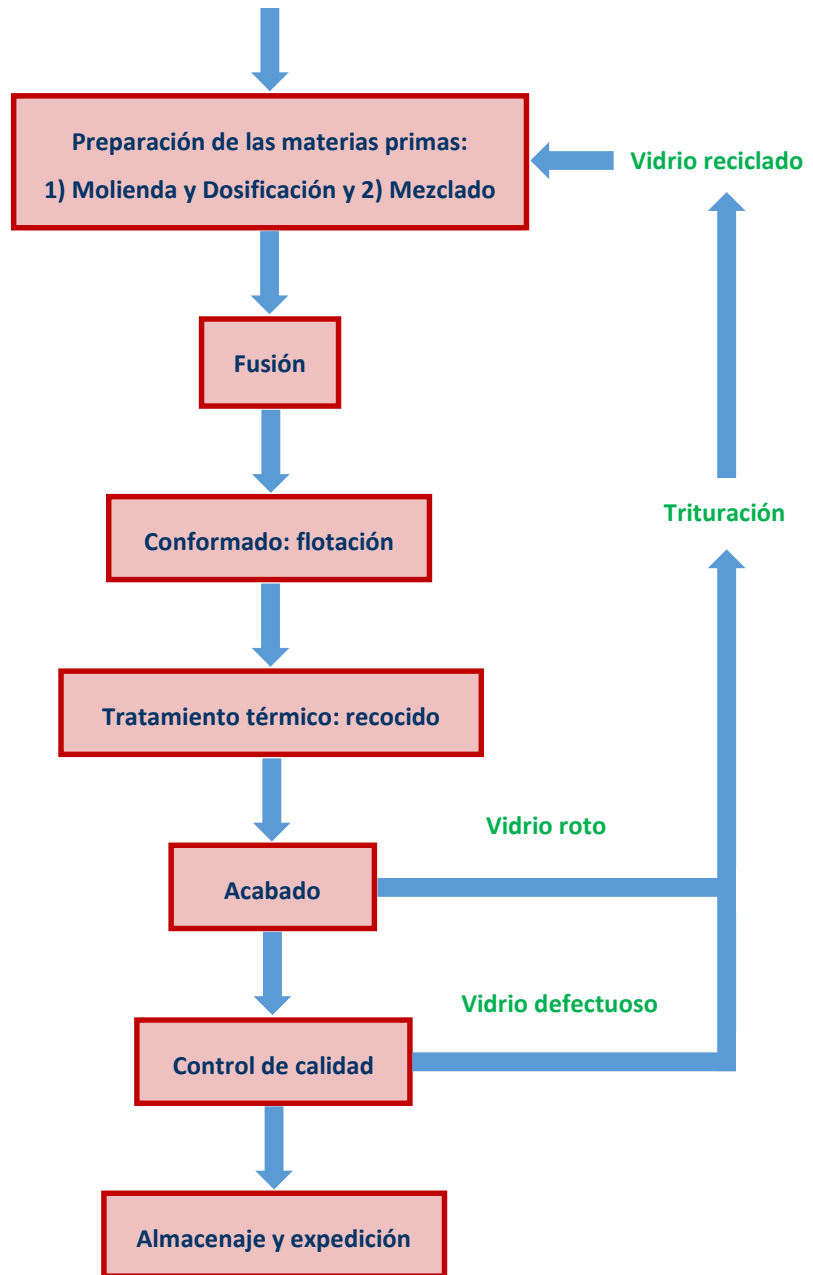
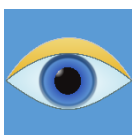


Figura 3. Diagrama de flujo del procesamiento del vidrio plano.



Puedes ver el siguiente vídeo para entender mejor el procesamiento del **vidrio plano**:

<http://www.youtube.com/watch?v=i26Gusa-xHk>

En la Figura 4 puedes ver las etapas del proceso de fabricación de la lana de vidrio.

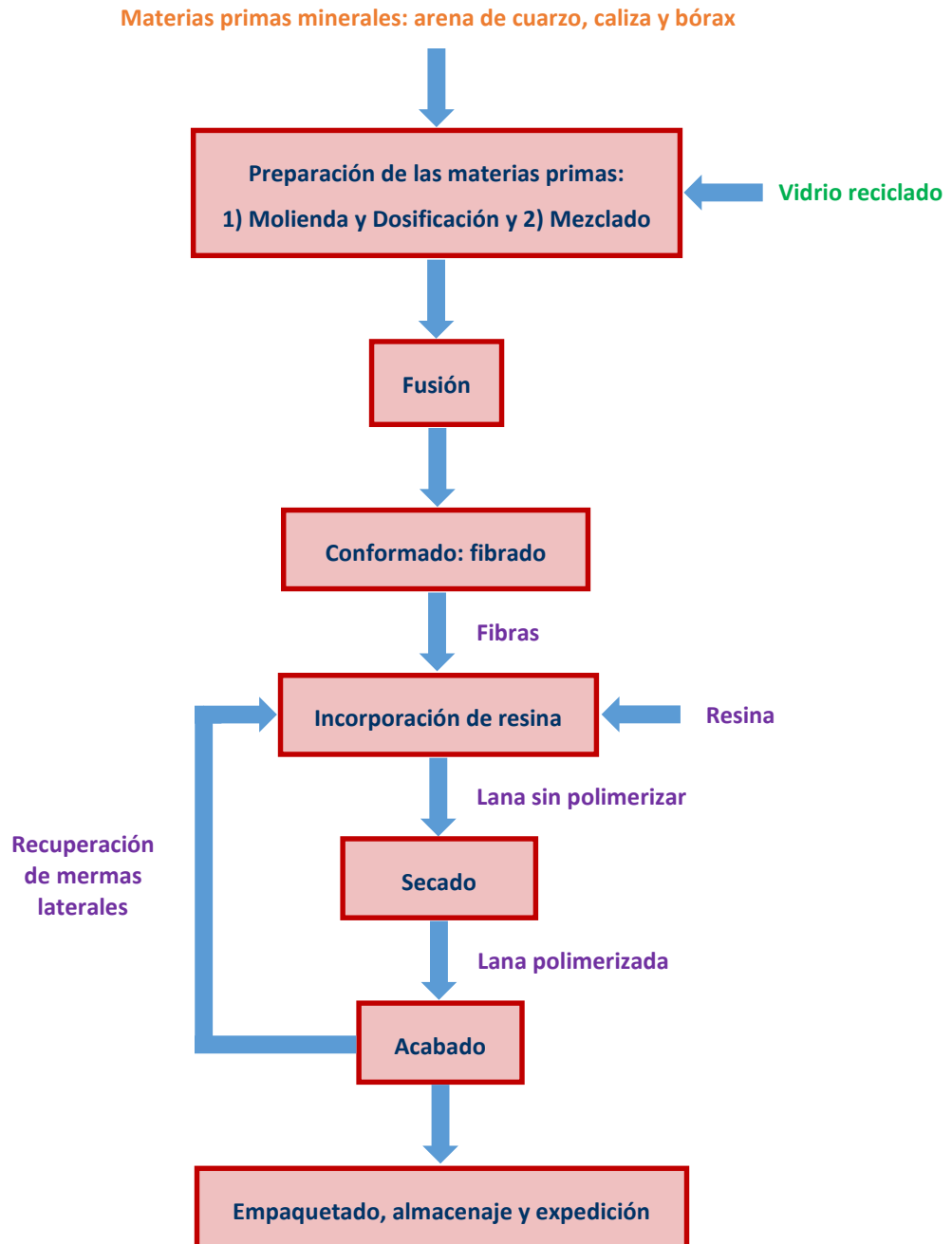


Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento de la lana de vidrio.



Puedes ver el siguiente vídeo para entender mejor el procesamiento de la **lana de vidrio**:

<https://www.youtube.com/watch?v=UcNIRRLowuU>

4.2 Comparación del procesamiento del vidrio plano y la lana de vidrio

En la Tabla 1 puedes ver una comparación del procesamiento de distintos materiales cerámicos fundidos, como son el vidrio plano y la lana de vidrio.

Etapas	Vidrio plano	Lana de vidrio
Materias primas	Materias primas minerales: arena de cuarzo, carbonato sódico y caliza Vidrio reciclado	Materias primas minerales: arena de cuarzo, caliza y bórax Vidrio reciclado
Preparación de las materias primas	1) Molienda y dosificación 2) Mezclado	1) Molienda y dosificación 2) Mezclado
Fusión	Fusión en un horno de gas a 1500 °C	Fusión en un horno eléctrico a 1450 °C
Conformado	Flotación	Fibrado
Tratamiento térmico	Recocido Obtención de vidrio plano	1) Incorporación de resina (aglutinante) a las fibras Obtención de lana sin polimerizar 2) Secado en horno para polimerizar la resina 3) Enfriamiento con aire Obtención de lana polimerizada
Acabado	1) Esmerilado 2) Pulido 3) Corte	1) Recorte lateral 2) Corte transversal 3) Revestimiento asfáltico
Control de calidad	Inspección del vidrio con lámparas fluorescentes	
Almacenaje y expedición	Almacenamiento de las láminas de vidrio en vertical y expedición	Enrollado, empaquetado, almacenaje y expedición

Tabla 1. Comparación del procesamiento del vidrio plano y la lana de vidrio.

Respecto a las **materias primas**, en el caso de la fabricación del vidrio plano se utilizan dos tipos de materias primas: **materias primas minerales**, como arena de cuarzo, carbonato sódico y caliza, y **vidrio reciclado**. En el caso de la fabricación de la lana de vidrio, también se utilizan materias primas minerales, como arena de cuarzo, caliza y bórax. Sin embargo, no se utiliza carbonato sódico como materia prima, ya que el Na_2O obtenido a partir del carbonato sódico favorece la solubilidad en agua del vidrio y no es adecuado para la fabricación del vidrio en fibras.

Respecto a la **preparación de las materias primas**, en los dos casos se realiza una primera etapa de **molienda y dosificación** de las materias primas con tamaño de partícula en forma de polvo. Posteriormente, se realiza un **mezclado** de las materias primas, obteniéndose el crudo del vidrio.

Respecto a la **fusión**, en el caso del vidrio plano se utiliza un **horno de gas**, siendo la temperatura dentro del horno de 1500 °C. Los materiales de la mezcla de materias primas



comienzan a fundirse y hay que remover el vidrio fundido; un homogeneizador mezcla el vidrio para igualar la temperatura. Una vez obtenida la masa de vidrio fundido, se extrae del horno de fusión a través de una abertura denominada **garganta**, que proporciona una lámina del espesor adecuado.

En el caso de la lana de vidrio, la fusión se realiza en un **horno eléctrico**, que funciona con electricidad generada con grandes electrodos, que calientan la mezcla de materias primas y la transforman en vidrio fundido a una temperatura aproximada de 1450 °C. A medida que el vidrio se funde pasa por un agujero hasta el fondo del horno de fundido.

Respecto al **conformado**, en el caso del procesamiento del vidrio plano se realiza mediante **flotación**, de forma que la lámina obtenida en el horno de fusión se desplaza sobre un **baño de estaño fundido** a 1100 °C, flotando ésta al ser tres veces menos densa que el estaño. De esta forma, y gracias a procesos de refusión, se logra que ambas caras de la lámina queden perfectamente lisas y pulidas. A lo largo del baño una serie de **rodillos** arrastran la lámina, a la vez que le confieren el espesor deseado.

En el caso del procesamiento de la lana de vidrio, el conformado se realiza mediante un proceso de **fibrado** a alta velocidad, que mediante giros transforma el vidrio fundido en fibras. El vidrio fundido se vierte en un cilindro giratorio que posee miles de pequeños agujeros o hileras en los lados de aproximadamente 1 mm de diámetro. La acción giratoria envía el vidrio hacia afuera a través de los agujeros y los separa en delgados hilos de vidrio. A medida que las fibras salen una corriente de aire las enfría y las empuja hacia abajo.

Respecto al **tratamiento térmico**, en el caso del procesamiento del vidrio plano, el vidrio todavía caliente que sale a 600 °C (ya sólido) del baño de estaño, se somete a un proceso de **recocido** en el interior de un **túnel de temperatura decreciente**, a fin de que se enfríe gradualmente sin tensiones internas que lo volverían demasiado frágil.

En el caso de la lana de vidrio, antes del tratamiento térmico, se adiciona una **resina (aglutinante)** a las **fibras minerales**, de forma que las fibras se adhieren entre sí, obteniéndose la **lana sin polimerizar**. La resina que baña las fibras polimeriza mediante una corriente de aire caliente a una temperatura entre 250 y 300 °C en un **horno de secado** y se transforman en un elemento termoestable, obteniéndose la **lana polimerizada (lana de vidrio)**. El aglutinante le otorga el característico color amarillo. Una vez que la lana de vidrio sale del horno de secado pasa a un **túnel de enfriamiento**, que envía aire hacia la lana de vidrio para enfriarla a la temperatura ambiente.

Respecto al **acabado**, en el caso del procesamiento del vidrio plano se realizan las siguientes operaciones de acabado de las láminas de vidrio: 1) esmerilado, 2) pulido y 3) corte. En el caso del procesamiento de la lana de vidrio, las operaciones de acabado de las piezas son: 1) recorte lateral, 2) corte transversal y 3) revestimiento asfáltico (proporciona a la lana de vidrio una barrera contra la humedad).

Respecto al **control de calidad**, en el caso del procesamiento del vidrio plano se colocan las láminas de vidrio en vertical y se realiza una **inspección con lámparas fluorescentes** en busca de defectos.

Finalmente, respecto al **almacenaje y expedición**, en el caso del procesamiento del vidrio plano, una vez inspeccionadas las láminas de vidrio, estas se trasladan una a una de forma manual o mediante robots y se almacenan en vertical, estando listas para su expedición posterior. En el caso de la lana de vidrio, una vez cortada la lana de vidrio a la medida adecuada, se enrolla y se empaqueta y finalmente se almacena para su expedición posterior.



5 Cierre

A lo largo de este documento hemos aprendido cómo se realiza el **procesamiento de los materiales cerámicos fundidos** para el caso concreto de los **vidrios**, poniendo como ejemplos el procesamiento del **vidrio plano** y de la **lana de vidrio**, y realizando finalmente una comparación entre el procesamiento de los distintos materiales cerámicos fundidos.

6 Bibliografía

- [1] Muñoz-Portero, M.J.: “Principios de Obtención de Materiales”, Editorial UPV, 2007.

- [2] Groover, M.P.: “Fundamentos de manufactura moderna”, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997.

- [3] Smith, W.F.: “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales”, McGraw-Hill, 1999.

- [4] Shackelford, J.F.; Güemes, A.: “Introducción a la Ciencia de los Materiales para Ingenieros”, Pearson Educación, 2010.

- [5] Askeland, D.R.: “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Paraninfo, 2001.

- [6] William, D.; Callister, Jr.: “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Reverté, 2000.

- [7] “Engineering Materials Handbook. Vol.4. Ceramics and Glasses”, ASM International, 1991.

- [8] Arredondo, F.: “Piedras, cerámica y vidrio”, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1991.