



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ELABORACIÓN ARTESANAL DE VIDRIO SÓDICO CÁLCICO Y VIDRIO  
DE PLOMO UTILIZANDO TÉCNICA DE COLADA PARA SU  
FUNDICIÓN

AGUILAR MOREIRA GERSON JOSHUE  
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ELABORACIÓN ARTESANAL DE VIDRIO SÓDICO CÁLCICO Y  
VIDRIO DE PLOMO UTILIZANDO TÉCNICA DE COLADA PARA  
SU FUNDICIÓN

AGUILAR MOREIRA GERSON JOSHUE  
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

ELABORACIÓN ARTESANAL DE VIDRIO SÓDICO CÁLCICO Y VIDRIO DE  
PLOMO UTILIZANDO TÉCNICA DE COLADA PARA SU FUNDICIÓN

AGUILAR MOREIRA GERSON JOSHUE  
INGENIERO QUÍMICO

ESPINOZA RAMON WASHINGTON OMAR

MACHALA, 24 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA  
24 de agosto de 2022

# ELABORACION ARTESANAL DE VIDRIO SÓDICO CÁLCICO Y VIDRIO DE PLOMO UTILIZANDO TÉCNICA DE COLADO PARA SU FUNDICIÓN

*por Gerson Josue Aguilar Moreira*

---

**Fecha de entrega:** 21-ago-2022 11:49p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1885320705

**Nombre del archivo:** TESIS\_GERSON\_AGUILAR.docx (160.61K)

**Total de palabras:** 2557

**Total de caracteres:** 13348

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, AGUILAR MOREIRA GERSON JOSHUE, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Elaboración artesanal de vidrio sódico cálcico y vidrio de plomo utilizando técnica de colada para su fundición, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 24 de agosto de 2022



AGUILAR MOREIRA GERSON JOSHUE  
0706355880

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi humilde hogar por brindarme principios y valores necesarios en la vida, a mis amigos y compañeros de la comunidad universitaria en general y a la más importante, mi madre que por el amor de ella creo en el bien.

## RESUMEN

El propósito del presente trabajo es determinar el efecto que causa el uso de bórax como fundente en las características de vidrios de plomo y sódico cáustico según la técnica de colado en placas.

Para el siguiente caso práctico se realizó una revisión bibliográfica sobre las materias primas que interviene en la formulación del vidrio, así también conocer la problemática energética que se presenta en el proceso de fundición si no se usa el bórax para disminuir la cantidad de energía útil para llevar a cabo dicho proceso.

Los tipos de vidrios como el de plomo y sódico cáustico utilizan en su composición reactivos puros (cerca del 95%) y una formulación diferente debido a que la aplicación de cada tipo es específica. Para el vidrio de plomo se usa el óxido de plomo (PbO) siendo el  $Pb^{+2}$  quien brinda la estabilidad al vidrio, no obstante para el vidrio sódico cáustico incorpora alúmina que ofrece mayor resistencia al vidrio.

Los resultados para el vidrio de plomo es que el bórax en el proceso de fundición permite que el plomo se relacione molecularmente con el óxido de silicio obteniendo un vidrio con características tales como mayor brillo y transparencia, en cambio el vidrio sódico cáustico al ser fundido con bórax en la superficie se vuelve más suave conforme aumenta la temperatura en un rango de 600 °C a 800°C que es la temperatura límite antes de la deformación.

***Palabras Clave:*** Bórax, estabilizantes, fundente, colado.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to determine the effect caused by the use of borax as a flux in the characteristics of lead and caustic sodium glasses according to the plate casting technique.

For the following practical case, a literature review was carried out on the raw materials involved in the formulation of the glass, as well as knowing the energy problems that arise in the casting process if borax is not used to reduce the amount of useful energy for carry out this process.

Types of glass such as lead and caustic sodium use pure reagents in their composition (close to 95%) and a different formulation because the application of each type is specific. For lead glass, lead oxide (PbO) is used, with Pb<sup>+2</sup> providing stability to the glass, however, for caustic soda glass, it incorporates alumina, which offers greater resistance to the glass.

The results for the lead glass is that the borax in the smelting process allows the lead to be molecularly related to the silicon oxide, obtaining a glass with characteristics such as greater brightness and transparency, on the other hand, the caustic soda glass when melted with Borax on the surface becomes softer as the temperature increases in a range from 600°C to 800°C which is the limit temperature before deformation.

**Keywords:** *Borax, stabilizers, flux, strained.*

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	I
<b>RESUMEN</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>LISTAS DE TABLAS</b> .....	V
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>DESARROLLO</b> .....	8
<b>El Vidrio</b> .....	8
<b>1. Materia Prima</b> .....	8
<b>1.1. Vitrificantes</b> .....	8
<b>1.2. Fundentes</b> .....	9
<b>1.3. Estabilizantes</b> .....	9
<b>1.4. Componentes secundarios</b> .....	9
<b>2. Tipos de vidrio</b> .....	9
<b>2.1. Vidrio de Plomo</b> .....	10
<b>2.2. Vidrio Sódico caustico</b> .....	11
<b>CONCLUSIONES</b> .....	12
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	13

## LISTAS DE TABLAS

<i>Tabla 1 Componentes principales del vidrio de cal sodada, vidrio de plomo y borosilicato.</i> .....	10
<i>Tabla 2. El porcentaje en peso de las materias primas para la fundición. ....</i>	10

## INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos el vidrio por sus distintas cualidades ha sido difundido como un material de prestigio y en otros lados hasta para realizar intercambios por otros bienes <sup>1</sup>. En el Siglo XVIII los vidrieros se mostraron como expertos en el arte de elaboración del vidrio presentando cada vez un modelo menos opaco y fue el caso de Inglaterra con la creación del vidrio de plomo, de bohemia y vidrio de base potásica <sup>2</sup>.

Castells X. et al, en su libro Reciclaje de residuos industriales describe al vidrio como un “líquido subenfriado de viscosidad infinita”, esto debido a su apariencia sólida proporcionada por su rigidez mecánica, pero al carecer de estructura definida, es decir no cristalina, este no se logra llamar como tal un sólido.

Aunque la sílice puede formar una matriz vítrea definida, su alta temperatura de fusión (1600 °C) consume mucha energía y limita su uso como recubrimiento en varios sustratos. La industria utiliza sustancias que reducen la temperatura de fusión del vidrio hasta unos 800-1200 °C, como es el caso de los óxidos metálicos del grupo I y del grupo II los cuáles son: Óxido de Potasio ( $K_2O$ ), Óxido de Calcio ( $CaO$ ), Óxido de Bario ( $BaO$ ), Óxido de Litio ( $Li_2O$ ), Óxido de Sodio ( $Na_2O$ ), Óxido de Magnesio ( $MgO$ ), además se utilizan otros metales como Óxido de Plomo ( $PbO$ ), Óxido de Zinc ( $ZnO$ ) y el más utilizado en la industria; el Óxido de Boro ( $B_2O_3$ ) <sup>3</sup>.

En el presente trabajo se expone las formulaciones básicas para la elaboración de vidrio de plomo y sódico cáustico mediante el uso de bórax como fundente utilizando la técnica de colado en placas, se expone el efecto que causa el bórax en las características físicas del producto terminado.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Determinación del efecto del bórax como fundente en las características del vidrio de plomo y sódico caustico en la industria vítrea artesanal utilizando la técnica de colado.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar la materia prima que se utiliza para la elaboración del vidrio.
- Establecer las formulaciones base que se utiliza en la elaboración de los vidrios de plomo y sódico caustico
- Determinar el efecto del bórax como fundente en las características físicas del vidrio de plomo y sódico cáustico utilizando la técnica de colado.

## DESARROLLO

### El Vidrio

La industria del vidrio es extremadamente diversa y se puede dividir en diferentes subsectores, como el vidrio de envase, vidrio plano, entre otros que abarcan diferentes productos con diferentes requisitos en calidad del producto y varias opciones de proceso; en la producción de vidrio la mayor parte de la energía consumida se requiere en el proceso de fundición de los materiales <sup>4</sup>.

El vidrio es un material amorfo, donde su coeficiente de expansión térmica, viscoelasticidad y relajación estructural cambian de forma no lineal con la temperatura y el tiempo. Por lo tanto, a veces es difícil controlar la precisión geométrica de los componentes de vidrio a alta temperatura <sup>5</sup>, es por eso que se necesita una composición adecuada de materiales y la ayuda de fundentes en el proceso de la fundición.

#### 1. Materia Prima

Para la elaboración del vidrio es necesario que sus componentes cumplan con diferentes funciones que le permitan a este tener características específicas para su uso.

##### 1.1. Vitrificantes

Los vidrios de borosilicato consisten en un compuesto red vítrea complejos de los óxidos de formación de vidrio; el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Su complicada estructura les permite ser los primeros candidatos para inmovilizar los desechos radiactivos de actividad alta (HLW) debido a su flexibilidad para incorporar muchos tipos de elementos de desecho a través de la unión altamente atómica entre ellos y la red cristalina <sup>6</sup>.

La vitrificación necesita altos costos debido al consumo de energía, pero este problema se puede superar con la adición de un material químico específico que mejora el proceso disminuyendo la temperatura requerida para la fusión, como sosa ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) o potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ) donde sus adiciones a la sílice pueden reducir el punto de reblandecimiento entre 800 y 900 °C.

### **1.2. Fundentes**

El bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) es un agente fundente de uso común que se puede descomponer en  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{B}_2\text{O}_3$  a altas temperaturas, formando compuestos de bajo punto de fusión con la mayoría de los óxidos y posee un excelente efecto fundente. Sin embargo, la acción fundente del bórax está estrechamente relacionados con la composición de las materias primas en la preparación de vitrocerámicas espumadas, que significa que el efecto fundente del bórax varía en diferentes sistemas <sup>7</sup>.

### **1.3. Estabilizantes**

El plomo otorga propiedades especiales al vidrio de silicato como el aumento de peso y mayor reflectividad, dando como resultado un vidrio con mayor brillo y una apariencia más similar al cristal natural. El  $\text{Pb}^{4+}$  puede comportarse como un formador de una red vitrea mientras  $\text{Pb}^{2+}$  actúa como un modificador en coordinación octaédrica, esto modifica la estabilidad del vidrio. De esta forma será posible conocer la influencia que tiene el plomo como posible elemento estabilizador en vidrios de  $\text{SiO}_2\text{-PbO-K}_2\text{O(Na}_2\text{O)}$  <sup>8</sup>.

### **1.4. Componentes secundarios**

El sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) se aporta como clarificante en una proporción aproximada del 0,3% en el vidrio de silicato sodocálcico. Para una descripción de los procesos de clarificación y homogeneización <sup>4</sup>.

## **2. Tipos de vidrio**

Las formulaciones para la elaboración de vidrio de plomo, cal sodada y borosilicato se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1** Componentes principales del vidrio de cal sodada, vidrio de plomo y borosilicato.

	<b>Cal sodada</b>	<b>Vidrio de plomo</b>	<b>Borosilicato</b>
<b>Dióxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>)</b>	71 - 75%	54 - 65%	70 - 80%
<b>Trióxido de DiBoro (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>			7 - 15%
<b>Oxido Plumboso (PbO)</b>		13 - 15%	
<b>Soda (Na<sub>2</sub>O)</b>	12 - 16%	25 - 30%	4 - 8%
<b>Oxido de Potasio (K<sub>2</sub>O)</b>			
<b>Oxido de calcio (CaO)</b>	10 - 15%		
<b>Alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	7%		
<b>Fuente:</b> <sup>9</sup>			

En la tabla 1 se muestran la formulación básica y el porcentaje de los componentes que se puede utilizar utilizando bórax como fundente, así también se puede incorporar otros aditivos como estabilizantes y vitrificantes que ayuden a mejorar las características de los vidrios.

### 2.1. Vidrio de Plomo

Se muestra en la tabla 2 las composiciones de la formulación de vidrio plomo-bario usando bórax como fundente. Los valores a continuación se encuentran en porcentajes que representa 30 g del total de la muestra.

**Tabla 2.** El porcentaje en peso de las materias primas para la fundición.

<b>Peso %</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>BaCO<sub>3</sub></b>	<b>PbO</b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>•10H<sub>2</sub>O</b>
<b>Muestra</b>	30	10	20	1	39
<b>Fuente:</b> <sup>10</sup>					

Las materias primas utilizadas fueron witherita BaCO<sub>3</sub>, óxido de plomo PbO, óxido de silicio SiO<sub>2</sub>, cal CaCO<sub>3</sub> y bórax Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>•10H<sub>2</sub>O con una pureza de reactivos al 99%. Y que posteriormente se vertieron en una placa de metal utilizando la técnica de colado hasta que la temperatura disminuyó.

Los resultados fueron que al usar la formulación antes mencionada y utilizando al bórax como fundente, se obtuvo un vidrio de características transparente debido a que

el PbO se clasifica como un “intermedio” en términos de estructura de vidrio, lo que significa que no puede formar un vidrio por sí mismo, pero que puede entrar en el red de otros óxidos formadores de vidrio (en este caso, SiO<sub>2</sub>)<sup>10</sup>.

## **2.2. Vidrio Sódico caustico**

La composición para el modelo de vidrio de soda caustica fue preparada con propiedades similares a la composición molar de 65 SiO<sub>2</sub>, 15 CaO, 17 Na<sub>2</sub>O, 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; posteriormente la sustancia fue calentada a 1200 °C, luego se procedió a colar en un molde la sustancia vítrea. El modelo de vidrio sodio cálcico (SLS) se cortó en láminas de 1 mm de espesor y las muestras fueron cubiertas con polvo fino de bórax que luego se fundió en una fina placa de oro durante 30 min a 600 °C<sup>11</sup>.

Los resultados de usar bórax en la formulación mencionado anteriormente según Drünert, F. et al. muestran que el vidrio se muestra más suave al aumentar la temperatura en la fundición, por lo cual solo las muestras tratadas con temperaturas inferiores a 800 °C conservaron su forma en el molde, por lo cual se recomienda utilizar esta temperatura para evitar deformaciones no adecuadas,

## CONCLUSIONES

En la industria vítrea se utiliza materiales vitrificantes como el óxido de silicio que es el más usado, fundentes como el bórax que permite la fundición de los componentes del vidrio reduciendo el gasto energético en el proceso, estabilizantes como el óxido de plomo que al ser incorporado en la mezcla de componentes otorga características cristalinas como el brillo haciendo más transparente el producto final y por último los componentes secundarios como el sulfato de sodio que mejora la calidad del vidrio ofreciendo un refinado del mismo.

Los vidrios de plomo incorporan en su formulación el óxido de plomo (PbO) que no posee la propiedad de cristalizar por sí mismo pero que en fundición con bórax logra entrar a la red cristalina del óxido de silicio; por la cual resulta en la formación de un vidrio transparente. En los vidrios sódico cáustico se diferencian por utilizar alúmina en su formulación, la cual debe ser calentado a 1200 °C y ser colado en un molde para posteriormente cortarse en finas láminas una vez solidificado; las finas capas de vidrio al ser fundidos una vez más, pero usando el bórax como reactivo fundente otorga una característica de suavidad al vidrio que incrementa conforme aumenta la temperatura por encima de 600 °C y por debajo de 800°C como su límite para evitar la deformación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) De Juan Ares, J.; Schibille, N. Ancient and Medieval Iberia Seen through Glass: An Archaeometric Perspective. *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.* **2017**, *56* (5), 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.04.001>.
- (2) Gil, C.; Agua, F.; Villegas, M. Á. Opacification of Crystal Glass. *Bol. la Soc. Esp. Ceram. y Vidr.* **2020**, *59* (4), 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2019.09.003>.
- (3) Feijoo, C.; Torre, E. De; Uribe, R. Reforzamiento Superficial Vítreo de Carbones Activados Granulares de Baja Activación. *Afinidad* **2018**, *75* (583), 195–203.
- (4) Zier, M.; Stenzel, P.; Kotzur, L.; Stolten, D. A Review of Decarbonization Options for the Glass Industry. *Energy Convers. Manag. X* **2021**, *10* (May), 100083. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100083>.
- (5) Ming, W.; Jia, H.; Huang, H.; Zhang, G.; Liu, K.; Lu, Y.; Cao, C. Study on Mechanism of Glass Molding Process for Fingerprint Lock Glass Plates. *Crystals* **2021**, *11* (4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cryst11040394>.
- (6) Abou Hussein, E. M. Vitriified Municipal Waste for the Immobilization of Radioactive Waste: Preparation and Characterization of Borosilicate Glasses Modified with Metal Oxides. *Silicon* **2019**, *11* (6), 2675–2688. <https://doi.org/10.1007/s12633-018-0056-1>.
- (7) Zhou, H.; Feng, K.; Liu, Y.; Cai, L. Preparation and Characterization of Foamed Glass-Ceramics Based on Waste Glass and Slow-Cooled High-Titanium Blast Furnace Slag Using Borax as a Flux Agent. *J. Non. Cryst. Solids* **2022**, *590*. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2022.121703>.
- (8) Arévalo, R.; Mosa, J.; Aparicio, M.; Palomar, T. The Stability of the Ravenscroft's Glass. Influence of the Composition and the Environment. *J. Non. Cryst. Solids* **2021**, *565* (March). <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2021.120854>.

- (9) Ewais, E. M. M.; Attia, M. A. A.; El-Amir, A. A. M.; Elshenway, A. M. H.; Fend, T. Optimal Conditions and Significant Factors for Fabrication of Soda Lime Glass Foam from Industrial Waste Using Nano AlN. *J. Alloys Compd.* **2018**, *747*, 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.03.039>.
- (10) Ma, Q.; Braekmans, D.; Shortland, A.; Pollard, A. M. The Production and Composition of Chinese Lead-Barium Glass through Experimental Laboratory Replication. *J. Non. Cryst. Solids* **2021**, *551* (June 2020), 120409. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2020.120409>.
- (11) Drünert, F.; Lind, F.; Vontobel, P.; Kamitsos, E. I.; Wondraczek, L.; Möncke, D. Borosilicate Glass Layers on Mycenaean Glass: Surface Alterations by Glass–borax–gold Interactions. *J. Non-Crystalline Solids X* **2019**, *3* (May), 100020. <https://doi.org/10.1016/j.nocx.2019.100020>.