

300627

18



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

" ESTUDIO DE LOS SILICATOS EN EL VIDRIO  
COMO MATERIA PRIMA RECICLABLE PARA  
ENVASES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS "

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO  
P R E S E N T A :  
ARTURO GUIZAR CASTRO

DIRECTOR DE TESIS:

QFB. MARIANO LLERA FANJUL

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta tesis está dedicada

A mis padres Silvia y Adalberto. Gracias por su esfuerzo y constante apoyo aún en las situaciones más difíciles de mi carrera y mi vida.

A mis hermanos Adalberto, Adriana y Alfonso: su apoyo incondicional permitió superar todas las dificultades que surgieron durante la realización de este trabajo.

A mis amigos. Gracias por estar cerca de mí cuando más los necesité.

A la QFB. Héliida Soto Coria. Gracias a su amor y su sabiduría pudo formarse un nuevo hombre.

A tí, por ser yo.

## INDICE.

	Pag.
<u>OBJETIVOS</u>	3
1.- VIDRIOS Y SILICATOS.	
1.1 Definición de Vidrio.	5
1.2 Definición de Silicatos.	8
1.3 Clasificación de los Silicatos.	8
1.3.1 Silicatos Cristalinos.	8
1.3.1.1 Neosilicatos.	10
1.3.1.2 Sorosilicatos.	10
1.3.1.3 Inosilicatos.	10
1.3.1.4 Filosilicatos.	10
1.3.1.5 Ciclosilicatos.	13
1.3.1.6 Tectosilicatos.	13
1.3.2 Silicatos Vitreos.	15
2.- EL VIDRIO.	
2.1 Formulación.	17
2.2 Clasificación.	18
2.2.1 Vidrios Naturales.	19
2.2.1.1 Vidrios de Origen Igneo.	19
2.2.1.2 Fulguritas y Tektitas.	19
2.2.2 Vidrios Comerciales.	20
2.3 Fabricación.	25
2.3.1 Recepción de la Materia Prima.	25
2.3.2 Formulación.	27
2.3.3 Pundido.	27
2.3.4 Afinado.	30
2.3.5 Moldeado.	33
2.3.6 Recocido.	36
2.3.7 Decorado.	39
2.4 Control de Calidad.	39
2.4.1 En la Materia Prima.	39
2.4.2 En el Producto Terminado.	43

	Pag.
2.4.2.1 Resistencia Mecánica.	43
2.4.2.2 Resistencia a la Presión Interna.	43
2.4.2.3 Resistencia Térmica.	44
2.4.2.4 Homogeneidad del Vidrio.	44
2.4.2.5 Grado de Rocido.	45
2.4.2.6 Resistencia Química del Vidrio	45
2.4.2.7 Transparencia y Color.	46
2.4.2.8 Otros Requisitos.	48
3.- EL VIDRIO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.	
3.1 Importancia del Vidrio en el Envasado de Alimentos	52
3.1.1 Cambios Fisicoquímicos.	57
3.1.1.1 Humedad.	57
3.1.1.2 Oxígeno.	57
3.1.1.3 Luz.	58
3.1.1.4 Pérdida de Sabor o Aroma.	58
3.1.1.5 Temperatura.	58
3.2 Areas de Aplicación.	59
3.2.1 Vinagre.	59
3.2.2 Encurtidos.	60
3.2.3 Saborizantes y Colorantes.	60
3.2.4 Aderezos.	61
3.2.5 Leche y Derivados.	62
3.2.6 Bebidas e Infusiones.	62
3.2.6.1 Café y Té.	62
3.2.6.2 Jugos de Frutas.	63
3.2.6.3 Bebidas en Polvo.	63
3.2.6.4 Bebidas Carbonatadas.	64
3.2.6.5 Bebidas Alcohólicas.	64
3.2.6.5.1 Cerveza.	64
3.2.6.5.2 Vño.	64
3.2.6.5.3 Bebidas Destiladas.	65
3.2.7 Alimentos Preparados.	65
3.2.8 Alimentos Infantiles.	66

	Pag.
4.- RECICLAJE DEL VIDRIO.	
4.1 Reciclaje Primario.	70
4.2 Reciclaje Secundario.	74
5.- EL VIDRIO EN COMPARACION CON OTROS MATERIALES RECICLABLES.	
5.1 Plásticos	78
5.1.1 Polietilén Tereftalato (PET).	78
5.1.2 Polietileno (PE).	79
5.1.3 Cloruro de Polivinilo (PVC).	79
5.1.4 Polipropileno (PP).	81
5.1.5 Poliestireno (PS).	81
5.1.6 Cloruro de Polivinildieno (PVDC).	81
5.1.7 Copolímero de Etilén Vinil Alcohol (EVOH).	81
5.2 Papel y Cartón.	82
5.3 Aluminio.	82
5.3.1 Capas Metalizadas.	83
6.- CONCLUSIONES.	87
7.- BIBLIOGRAFIA.	90

**ESTUDIO DE LOS SILICATOS EN EL VIDRIO COMO MATERIA PRIMA RECICLABLE  
PARA ENVASES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**

**Objetivos:**

- 1.- Revisar qué son los vidrios, su constitución fisicoquímica y aplicaciones en la industria, particularmente en la industria de alimentos.
- 2.- Establecer el reciclaje de vidrio como fuente alterna de silicatos para la fabricación de envases.
- 3.- Determinar la importancia de los envases de vidrio en la industria de alimentos.

## 1.- VIDRIOS Y SILICATOS.



## 1.1 DEFINICION DE VIDRIO.

Con este nombre se agrupan los minerales obtenidos por el enfriamiento de ciertos compuestos fundidos y que, al ser enfriados por debajo de su punto de congelación, conservan las propiedades del estado líquido mientras su viscosidad se eleva a valores tales que pueden ser moldeados como un sólido. Son considerados entonces como líquidos sobreenfriados.

Son varias las sustancias que presentan la capacidad de ser vitrificables; salvo los gases nobles, no hay elemento en la tabla periódica que en mayor o menor proporción, no forme parte de la composición de algún vidrio (tabla 1). Existe pues, una variedad tan grande de vidrios como la hay de otros materiales. Una gran cantidad de sustancias pueden ser vitrificadas por enfriamiento desde su estado líquido (tabla 2); otras pueden ser obtenidas por deposición de sus vapores sobre una superficie a muy baja temperatura.

Aunque los vidrios son considerados amorfos, por lo común presentan una ordenación de poco alcance en su estructura. La mayoría de los vidrios se consideran compuestos por óxidos, siendo los más importantes, los obtenidos del boro, silicio, fósforo, germanio, vanadio, azufre y plomo. Existen vidrios formados por azufre, selenio y telurio, en combinación con otros elementos como arsénico, antimonio, germanio y silicio, cuya importancia radica en sus propiedades eléctricas y ópticas. Los vidrios de aluminato transmiten a longitudes de onda dentro del infrarrojo, algo mayores que la sílica, por lo que se utilizan en conos para misiles detectores de calor. Los vidrios de telurita son importantes por sus altos índices de refracción y alta constante dieléctrica. Los vidrios de vanadatos son semiconductores. Muchas aleaciones metálicas pueden obtenerse en forma vítrea; algunas de estas aleaciones tienen gran resistencia al mismo tiempo que son muy dúctiles; otras son muy resistentes a la corrosión. Existen aleaciones vítreas muy "suaves" magnéticamente, es decir, que pueden magnetizarse con la aplicación de pequeños campos magnéticos.



**TABLA 2**  
**SUSTANCIAS QUE PUEDEN OBTENERSE COMO VIDRIOS POR ENFRIAMIENTO**  
**RAPIDO DESDE EL ESTADO LIQUIDO O FUNDIDO.**

I. ELEMENTOS.	S, Se, Te, P.
II. VIDRIOS INORGANICOS.	
1. Oxidos	a) Puros: $SiO_2$ , $H_2O_3$ , $GeO_2$ , $P_2O_5$ , $As_2O_3$ , $Sb_2O_3$ . b) Mezclas con alguno de los anteriores: $Al_2O_3$ , $Ga_2O_3$ , $In_2O_3$ , $Nb_2O_5$ , $Ta_2O_5$ , $WO_3$ , $TiO_2$ , Oxidos alcalinos y alcalinotérreos ( $Na_2O$ , $CaO$ , etc.).
2. Sulfuros	$As_2S_3$ , $Sb_2S_3$ .
3. Haluros	$BeF_2$ , $ZnCl_2$ .
4. Nitratos	Mezclas de $KNO_3 \cdot Ca(NO_3)_2$ .
5. Sulfatos	$K_2S_2O_7$ .
6. Carbonatos	Mezclas de $K_2CO_3 \cdot MgCO_3$ .
7. Fluoruros	$AlF_3$ , $BeF_2$ .
8. Teluritos	Mezclas de $TeO_2$ .
9. Soluciones	Soluciones acuosas de sales, especialmente nitratos y mezclas de $H_2O + H_2O_2$ .
III. VIDRIOS ORGANICOS	
1. Moléculas Simples	Eter etílico, etilenglicol, glicerina, metanol, glucosa, sacarosa, etc.
2. Polímeros	Polietileno, polimetacrilato de metilo y muchos otros materiales plásticos.
IV. VIDRIOS METALICOS	
	Aleaciones $AuSi + PdSi$ ; $Te-Cu$ , aleaciones de metales del Upo. del Pt. (1)

FALLA DE ORIGEN

## 1.2 DEFINICION DE SILICATOS.

Dentro de los vidrios de uso comorcial, el componente principal es la silice ( $\text{SiO}_2$ ), por lo que son denominados vidrios silicatos o silicáticos.

El silicio es el segundo elemento en abundancia, en la corteza terrestre (27.7% en peso), después del oxígeno (46.6% en peso). La unión de ambos elementos da origen a los silicatos (2). El enlace Si-O es particularmente estable, razón por la que no es posible encontrar silicio libre en la naturaleza. De la combinación del silicio y el oxígeno se obtiene el anión ortosilicato  $\text{SiO}_4^{4-}$ , unidad estructural básica de todos los silicatos, cristalinos o amorfos. Esta unidad consiste en un tetraedro que contiene el átomo de silicio al centro y los oxígenos en los vértices (figura 1) (1). El silicio por lo general es poco reactivo, siendo atacado por los halógenos para formar halogenuros (3).

## 1.3 CLASIFICACION DE LOS SILICATOS.

Los silicatos pueden dividirse en dos grupos:

Silicatos Cristalinos.

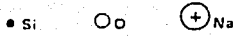
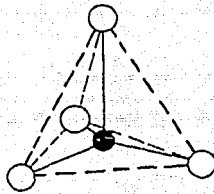
Silicatos Amorfos.

### 1.3.1 Silicatos Cristalinos.

Se clasifican según el grado creciente de complejidad en su estructura. Pueden formarse por tetraedros aislados de aniones ortosilicato o por varios aniones unidos entre sí. Siempre que se mantenga la electroneutralidad mediante el correspondiente ajuste al número o carga de los cationes, las estructuras permanecen perfectamente estables (3).

FIGURA 1

REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL ANION ORTOSILICATO



Los distintos tipos que encontramos son:

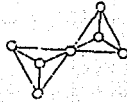
1.3.1.1 Neosilicatos. En el retículo cristalino, los sitios correspondientes son ocupados por aniones ortosilicato y cationes. Los aniones ortosilicato no son comunes en los minerales, aun cuando se encuentran presentes en el olivino, constituyente importante del basalto, la roca extrusiva más voluminosa que se forma por el flujo de magma (3). Existen ortosilicatos de aluminio como la silimanita, mullita o andalucita; los granates y silicatos de circonio como el circón.

1.3.1.2 Sorosilicatos. Del griego "soros" isla. Dos aniones se unen formando el anión  $\text{Si}_2\text{O}_7^{4-}$ , piro-silicato. Comparten un átomo de oxígeno, dando lugar al puente de oxígeno  $\text{Si-O-Si}$ , entre los dos aniones. Los minerales de este grupo son raros, siendo un ejemplo el epidoto (figura 2).

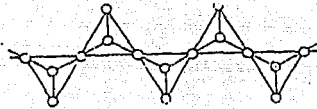
1.3.1.3 Inosilicatos. De "inos" fibra. Los tetraedros se unen formando eslabones ilimitados, sólo interrumpidos por superficies de fractura. Estas cadenas se denominan meta-silicatos, al considerarse derivados del hipotético ácido metasilícico  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , homólogo del ácido carbónico. Los minerales que poseen la estructura de cadenas simples, se conocen como piroxenos. Existen también estructuras formadas por cadenas dobles, llamadas anfíboles (figura 2); dentro de estos se encuentra la tremolita (meta-silicato de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  con aniones  $\text{OH}^-$  en la red). La tremolita da origen al amianto o asbesto, cuyas fibras tienen amplio uso como materiales aislantes.

1.3.1.4 Filosilicatos. De "phylon", hoja. Los tetraedros se unen entre sí compartiendo tres de sus cuatro oxígenos, resultando capas formadas por redes pseudoexagonales. El oxígeno puenteado y cargado negativamente, se orienta por encima y debajo del plano de dicha capa, siendo compensadas las cargas negativas por cationes. Las capas se encuentran débilmente unidas entre sí, por lo que pueden separarse fácilmente, presentando el fenómeno de exfoliación, muy marcado en las

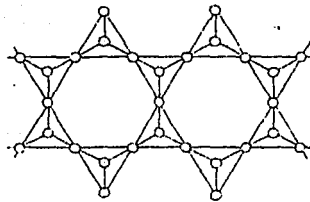
FIGURA 2



ANION PIROSILICATO

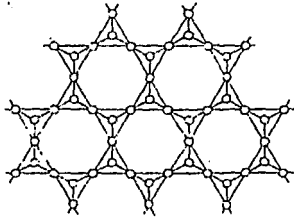


PIROXENO

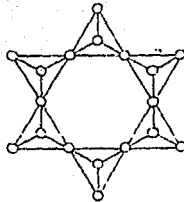


AMFIBOLES

FIGURA 3



FILOSILICATOS



CICLOSILICATOS



micas o el talco. Aquí se encuentran las arcillas, de gran variedad, tanto en composición como en estructura (3) (figura 3).

1.3.1.5 Ciclosilicatos. Del griego "kikios" círculo. Los tetraedros se unen entre sí formando anillos de tres, cuatro, seis o más tetraedros, dando lugar a estructuras cíclicas con grandes huecos en los que se alojan los cationes (figura 3). Son conocidos el berilo, la turmalina y principalmente las zeolitas, utilizadas como ablandadores de aguas duras por intercambiar con facilidad sus cationes alcalinos por los alcalinotérreos de las aguas.

1.3.1.6 Tectosilicatos. Del griego "tekton" armazón. Son importantes desde el punto de vista geológico, ya que constituyen la estructura firme de la corteza terrestre y son los más estables mecánica y químicamente. En ellos, los tetraedros de ortosilicato están unidos a otros cuatro tetraedros formando una estructura tridimensional continua y ordenada. Hay dos tipos principales:

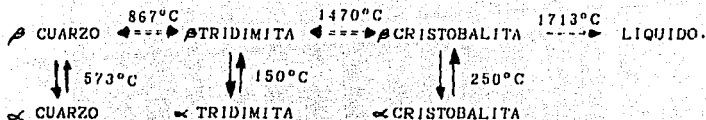
Constituidos por Silicio.

Silicoaluminatos.

En los silicoaluminatos, algunos tetraedros de silicato se alternan con tetraedros de aluminato, en distintas proporciones.

La silice se presenta en la naturaleza en gran número de variedades cristalinas y amorfas. Las variedades cristalinas son fundamentalmente el cuarzo, la tridimita y la cristobalita; cada una presenta subvariedades metaestables. Se conocen ocho estructuras estables a presión atmosférica y catorce estables a presiones elevadas, encontradas en estratos profundos de la corteza, en zonas donde se produjeron explosiones nucleares y en cráteres formados por el impacto de meteoritos.

La silico es un ejemplo importante de polimorfismo:



Las formas alfa son metaestables y derivan de las formas beta, por rotación de los tetraedros sobre los oxigenos puente. Para pasar de una forma a otra, es necesario un tiempo prolongado de tratamiento térmico. Esta lentitud es la que favorece la estabilidad de las formas metaestables a temperatura y presión ambiente. Sin embargo, la velocidad de conversión es profundamente afectada por la presencia de impurezas, o la introducción de metales alcalinos (donadores de óxidos) (2).

La mayor parte de los cuarzos que se encuentran en la naturaleza, son del tipo alfa, aunque la forma termodinámicamente más estable, sea la beta. La cristobalita posee una estructura tetraédrica similar al diamante. La tridimita es la menos común de las variedades y el cuarzo es el más común y de estructura más compacta.

Dentro de los silicoaluminatos encontramos los feldespatos, en los que algunos ortosilicatos son sustituidos por ortoaluminatos, siendo las proporciones Si/Al más comunes 1/1 y 3/1. Como el aluminio tiene valencia +3 en lugar de +4 como el Si, es necesaria la entrada a la red de una carga positiva más por cada átomo de aluminio. En consecuencia, no existen tectosilicatos formados exclusivamente por  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sino también por los cationes alcalinos Na y K, así como por los alcalinotérreos como el  $\text{Ca}^{2+}$ . Los feldespatos más comunes son la ortosa (alúminosilicato potásico) y la albita (alúminosilicato sódico); la anortita es alúminosilicato de calcio. Estos tres compuestos pueden formar soluciones sólidas con una variación continua en su composición, llamadas plagioclasas.

Existen también los feldespatoides, en los que la relación aluminato/silicato es mayor que en los feldespatos y contienen más álcalis. Los feldespatos y feldespatoides se encuentran en rocas sedimentarias. En general, los tectosilicatos son muy estables mecánica y químicamente, debido a su estructura compacta.

Tienen importancia tres clases de minerales con estructura de alúminosilicatos: los feldespatos, las zeolitas y las ultramarinas. Los feldespatos son los minerales más importantes en la formación de rocas y comprenden 2/3 de las rocas ígneas como el granito, formado por cuarzo, feldespato y micas. Las zeolitas son minerales que se caracterizan por sus estructuras abiertas que permiten el intercambio de cationes y moléculas de agua. Ciertas zeolitas se pueden aplicar ampliamente como "tamices" moleculares, si el agua adsorbida en las cavidades se elimina completamente. Las ultramarinas son minerales que poseen una estructura abierta y poseen colores intensos debido a la presencia de aniones libres como  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , o  $S^{2-}$ , en sus cavidades (3).

### 1.3.2 Silicatos Vitreos.

Los vidrios silicatos han sido los primeros y más profundamente estudiados, desde el punto de vista de su estructura, dado que tanto histórica como industrialmente, son los vidrios por antonomasia. Sus características son estudiadas en el siguiente capítulo.

## 2.- EL VIDRIO.

## 2.1 FORMULACION.

Los vidrios constituidos por óxidos y los vidrios silicatos en particular, son los materiales conocidos habitualmente con esta denominación. Son conocidos por el hombre desde los inicios de la civilización. Originalmente fueron utilizados como cuentas para collares y otros adornos, siendo considerados tan valiosos como las piedras preciosas. Es a partir de la Revolución industrial que se generalizó su uso, en recipientes, anteojos, ventanas, materiales de laboratorio, etc. Se comienzan a estudiar entonces, de manera científica, sus propiedades. Durante la primera mitad del siglo XIX predominó la idea de que el "vidrio" era un compuesto químico definido; con la fabricación en gran escala de vidrios en composiciones sumamente variables, dicho concepto cambió y fue sustituido por la visión de que los vidrios son soluciones (mezclas homogéneas) de óxidos, con valores sumamente elevados de viscosidad, pudiendo calcularse algunas de sus propiedades aditivamente.

La estructura del vidrio silicato está constituida por una red de unidades ortosilicato, unidas por puentes de oxígeno, pero sin presentar una ordenación regular en su estructura. La fuente del anión ortosilicato, la encontramos en la sílice, que se presenta en la naturaleza, formando un gran número de variedades polimórficas como el cuarzo, la forma cristalina más común de este material y además la más compacta. El sílice es el constituyente principal de las arenas. A la sílicen en forma de anión ortosilicato, se le denomina formado de red.

Un vidrio común soda-cal contiene, además de la sílice como componente principal, óxidos de potasio y sodio rompiendo parte de los puentes de oxígeno, dejando oxígenos no puenteados con carga negativa, compensada por las cargas positivas de los cationes anteriormente mencionados. Estos óxidos son conocidos como modificadores de red y se encuentran repartidos al azar en la estructura, ocupando huecos vecinos a los oxígenos no puenteados. Cuanto más óxidos alcalinos se introduzcan,

mas se debilitará la red, hasta llegar a un punto en que no se forma un vidrio sino un silicato alcalino, soluble en agua.

Otros componentes presentes son cationes divalentes, iones alcalinotérreos como el calcio, que tienen un efecto menos destructivo sobre la red, puesto que mantienen vecinos dos radicales ortosilicato por atracción electrostática. Dichos cationes cumplen entonces la misión de ser estabilizadores de la red en los vidrios silicato alcalinos, disminuyendo su solubilidad en agua.

Existe otro grupo de óxidos que son considerados formadores condicionales de red como es el caso del  $Al_2O_3$ , que no forma vidrios por sí solos, pero que pueden formar parte de la composición de los mismos, confiriendo parte de sus características al vidrio obtenido. Dichos cationes pueden ser plata o plomo, por ejemplo, que confieren al vidrio resultante, un alto índice de refracción. El cerio permite obtener vidrios transparentes que no transmitan la luz ultravioleta. El hierro puede conferir una coloración verde al vidrio o amarillenta si se combina con azufre. Otros cationes que pueden ser añadidos son litio, rubidio, cesio, magnesio, estroncio, bario, manganeso, etc. (tabla 1). Es posible obtener una gran variedad de vidrios, de propiedades muy diferentes, al variar apropiadamente los componentes y sus proporciones.

## 2.2 CLASIFICACION.

Los vidrios se clasifican por su origen en:

Vidrios Naturales.

Vidrios Comerciales.

Dentro de los vidrios comerciales, es posible subclasificarlos en:

- Vidrios Silicáticos.** La sílice es el componente principal. Son los vidrios de sodio y calcio (soda-cal) o los vidrios potásicos.
- Vidrios Borosilicatos.** Compuestos por sílice o óxido bórico.
- Vidrios Alúminosilicatos.** Formados por sílice y alúmina. Son vidrios de alta temperatura de ablandamiento, por lo que se utilizan en materiales para laboratorio.
- Vidrios de Sílice.** Conocidos también como vidrios de cuarzo. Contienen más del 95% de sílice.
- Vidrios de Plomo.** Contienen un 35% de óxido de plomo.
- Vidrios de Boratos.** Compuestos por boratos alcalinos.
- Vidrios de Fosfatos.** Compuestos por metafosfato alcalino.

## 2.2.1 VIDRIOS NATURALES.

2.2.1.1 Vidrios de origen ígneo. Magmas que se enfriaron lo suficientemente rápido para evitar la cristalización. Es común encontrar vidrio como constituyente de rocas eruptivas; algunas veces se los encuentra en grandes cantidades. Muchos vidrios naturales semejan al granito en su composición y representan material que en otras circunstancias podría haberse solidificado a rocas cristalinas.

2.2.1.2 Fulguritas y tektitas. Las fulguritas se forman a consecuencia del impacto de un rayo en la arena u otro material poroso. En general, las fulguritas son ricas en sílica aunque también contienen cantidades importantes de otros minerales, especialmente feldespato que se llega a encontrar en la arena y se incorpora al vidrio.

En 1914, Suess acuñó el término tektita para designar un grupo de vidrios naturales encontrados en varias partes del mundo. Las tektitas son consideradas de origen meteórico como consecuencia del impacto de meteoros en la arena o piedras arenosas, produciéndose a consecuencia del enorme calor generado por el impacto, charcos de sílica derretida más o menos pura, que fué tomando forma mientras era salpicada a grandes distancias por el aire. Las tektitas son terrones

de vidrio de sílice, diseminados en un área de 25 a 80 kilómetros en regiones con dunas de arena dispuestas en forma paralela y distancias de 2 a 5 kilómetros de separación entre ellas. Aunque muchas tektitas tienen un alto contenido de sílice, muchas de ellas sólo llegan a contener un 70% de este material.

### 2.2.2 VIDRIOS COMERCIALES.

Aunque es posible obtener una gran variedad de vidrios, en la práctica existe una importante limitación dada por el costo y las posibilidades técnicas. Es decir que para fabricar un vidrio determinado, es necesario tomar en cuenta:

- 1.- Que tenga las propiedades físicas y químicas deseadas.
- 2.- Que sea industrialmente accesible, es decir, que puedan alcanzarse las temperaturas necesarias para su fundición y afinado a temperatura industrial razonable.
- 3.- Que puedan utilizarse materias primas cuyo costo permita económicamente la utilización del envase fabricado.
- 4.- Que el vidrio resultante pueda ser elaborado sin inconvenientes en el proceso de fabricación y acabado posterior.

Sólo un número reducido de los elementos conocidos posee óxidos capaces de ser transformados en vidrio bajo esas condiciones: los anhídridos bórico, fosfórico y la sílice. Esta última es un notable óxido formador y el vidrio que se obtiene de su fundición, tiene el mayor número de características deseables al ser fácilmente vitrificable cuando se enfría, resistente al ataque de agua o ácidos y tener un coeficiente de dilatación pequeño.

La inmensa mayoría de los vidrios fabricados actualmente y durante miles de años, están compuestos fundamentalmente de sílice, químicamente denominada anhídrido silícico por lo que forma parte del grupo de los silicatos. Este producto, solo o combinado, representa



el 60% de la corteza terrestre y es constituyente esencial de las arenas, por lo que su precio como materia prima es relativamente barato. Forma un vidrio insoluble de alta permeabilidad a los rayos ultravioleta, resistente al rayado y choque térmico pero requiere temperaturas de fusión del orden de 1800°C, lo que le hace incosteable para manejarse por sí solo en la industria. Se logra aprovechar su propiedad de ser formador de vidrios y retener parte de sus otras cualidades al ser combinado con otros compuestos que posibiliten su uso a temperaturas industrialmente razonables; estos compuestos añadidos, se conocen como óxidos fundentes y confieren nuevas características al vidrio formado. Por ejemplo, se añade óxido de sodio a la sílice, para reducir su temperatura de fusión a unos 1500°C y reduce su viscosidad, de manera que el proceso de moldeado sea fácil a nivel industrial.

El vidrio obtenido por la fusión de sílice y óxido de sodio es fácil de moldear pero de alta solubilidad, por lo que se le conoce como vidrio soluble y se emplea en la fabricación de jabones y adhesivos. Para corregir esta característica, se añade otro grupo de compuestos conocido como estabilizadores entre los cuales el más utilizado es el óxido de calcio conocido también como cal y que se añade como piedra caliza, marmol, etc. El vidrio obtenido se conoce entonces como sodacal. Al variar las proporciones en que se añaden estos compuestos, se pueden controlar las características del vidrio que se obtenga. Por ejemplo, mientras mayor sea la cantidad de sodio, más fácil de fundir se vuelve pero es más soluble; si se añade mayor cantidad de cal, el vidrio obtenido es más durable pero si se añade en exceso, el vidrio es difícil de fundir y cristaliza con facilidad. En la práctica se añaden a estos componentes básicos del vidrio, otros compuestos para mejorar sus propiedades o facilitar el proceso de fundición o moldeado.

Es posible sustituir parte del óxido de calcio por óxido de magnesio hasta un 4%, en cuyo caso se introduce parte del carbonato de calcio como dolomita, que provee Ca y Mg simultáneamente. También es posible sustituir parte del óxido de sodio por óxido de potasio hasta un 1% y

a veces más cuando se agrega feldespato potásico, el cual disminuye la tendencia a la desvitrificación y aumenta la durabilidad química. También se usa el feldespato potásico cuando se elaboran vidrios de tipo sonoro. La adición de alúmina también da mayor durabilidad química al vidrio obtenido al mismo tiempo que disminuye su coeficiente de dilatación; un exceso de alúmina aumenta la viscosidad del vidrio haciéndolo difícil de manejar y fundir. La alúmina se puede añadir hasta en un 2.5%, el promedio es de 2% y se introduce como feldespato, el cual está compuesto esencialmente:

$\text{SiO}_2$  - 64-66%  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 18 - 20%  
 $\text{K}_2\text{O}$  - 10 - 12%  
 $\text{Na}_2\text{O}$  - 3 - 4%

La adición de anhídrido bórico hasta un 1% disminuye la tendencia natural a la desvitrificación y se añade como bórax, ácido bórico, ulexita, tinkal, etc. Además se añaden colorantes y descolorantes.

La mayoría de estos vidrios, dado el tipo de fundente usado, resultan tener un coeficiente de dilatación relativamente elevado, por lo que son poco aptos para artículos que deban resistir un choque térmico relativamente elevado. El coeficiente de dilatación de la sílice es tan bajo que permite soportar saltos de temperatura relativamente enormes; al combinarse con óxidos de sodio y calcio en los vidrios soda-cal, aumenta casi 20 veces, por lo que disminuye su resistencia térmica.

En los vidrios que tengan que resistir saltos térmicos, se utiliza un mínimo de óxidos de calcio y sodio, usándose como fundente anhídrido bórico, de tal modo que quede un 5 a 20% de boro en el vidrio resultante. El promedio utilizado es 12%. Estos son conocidos como vidrios de borosilicato y pueden clasificarse en dos grupos:

a) Vidrios térmicos, de baja expansión y elevada resistencia a choques térmicos; se destinan para usos técnicos e industriales, así como vajillas para hornear o de mesa.

b) Vidrios neutros, de gran durabilidad química y en forma secundaria, de resistencia térmica; constituyen la inmensa mayoría de los envases ampollita para inyectables.

Existen también los denominados vidrios de plomo, cuyo compuesto principal es la sílice pero que contiene además de los óxidos de sodio y potasio, un contenido relativamente elevado de óxido de plomo, entre un 15 y 40%; en general se maneja un 20% como promedio. Puede contener otros componentes especiales como óxidos de titanio, cinc o bismuto. Este tipo de vidrio no es tan común debido al costo relativamente elevado del óxido de plomo y se sigue usando en cristalería de calidad, en vidrios ópticos así como en la fabricación de lámparas, formando la base que sostiene los electrodos. Dentro del grupo de los vidrios ópticos hay una gran diversidad en cuanto a composición puesto que deben diseñarse de manera que abarquen una amplia variedad de propiedades ópticas. Se caracterizan por ser casi perfectos en cuanto a la ausencia de defectos físicos. En general se funden en crisoles recubiertos de platino y vaciados a moldes de donde pueden ser llevados hasta su forma final. Debido a que es indispensable la claridad en los vidrios ópticos, sólo se utiliza materia prima de la mayor pureza para su fundido.

El vidrio utilizado en la fabricación de equipo para laboratorio, requiere ser especialmente resistente a los ataques por agua y ácidos; generalmente se elabora con boro y su composición es casi totalmente sílica, con la menor cantidad posible de compuestos alcalinos. Dentro de este grupo es importante el vidrio conocido como Vycor que es casi sílice pura. El vidrio inicial es de sodio borosilicato y mediante un tratamiento térmico, se separa en dos fases, una de las cuales se elimina quedando un material poroso consistente principalmente en sílice pura y que es convertido en un vidrio claro y denso, mediante calentamiento. Durante el enfriamiento, este vidrio encoge en forma considerable.

La tabla 3 nos ofrece un panorama de la composición de algunos vidrios de uso comercial, óptico y experimental.

TIPO	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO MgO	BaO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	OTROS
Ventanas	75		15		9			1		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.3
Espejos	70.6		11.8		16.9			0.6		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.4
Botella										
Blanco	72.1	0.2	14.4	0.4	10.4	0.3		1.9		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.2
Verde	67.4	0.1	11.9	1.7	10			5.9		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.5 MnO 0.8
Termo- resistente	81	12	4.5					2.0		
Optico Crown	70.1	1.0	1.0	15	12.4			1.0		
Optico Flint	45.2			6.8	0.4		47.1	0.8		
Cristal de										
Plomo	52.4		0.1	10.4	0.8		35.2	1.0		
Vidrio Neutro										
Ampolletas	71.6	9.9	7.9	1.4	0.3	2.8		5.5	0.4	
Material de										
Laboratorio	73	5-6	6-8	9-2	1-8	0-5		2-5	0.3	
Resistente										
al Sodio	8.0	48.2	14		6.0			24.0		
Opal	67.5		8.5	3.3	10.5		0.1	4.0	0.1	

TABLA 3  
COMPOSICIONES TÍPICAS DE DIVERSOS VIDRIOS.

Además de variar la composición química, es posible obtener diferentes tipos de vidrio mediante variaciones en el proceso para su obtención, como es el caso del vidrio templado, en el cual la masa de vidrio fundido se hace fluir como una lámina y es enfriada bruscamente, lográndose un vidrio altamente tensionado, capaz de absorber impactos térmicos o mecánicos de cierta importancia, dispersando dicha energía en su interior. Al romperse este tipo de vidrio, se fragmenta en pequeños pedazos en lugar de formar astillas largas, como los vidrios comunes.

Existen los llamados vidrios de seguridad, consistentes en la unión de dos láminas de vidrio de 3mm de espesor, con una película transparente de material orgánico, utilizando calor y presión. Este vidrio es particularmente resistente y al romperse, los fragmentos se mantienen unidos mediante la película orgánica.

También es posible la obtención de fibras de vidrio, ya sea en forma continua o discontinua. Las fibras continuas se obtienen al fundir bolsas de vidrio en un crisol y haciéndolo escurrir por boquillas. En las fibras discontinuas, se soplan ráfagas de aire a una corriente de vidrio fundido hasta formar pequeños filamentos. Para la obtención de estas fibras, se eliminan los óxidos de sodio y potasio, pues de otra forma serían muy susceptibles a la corrosión.

## 2.3 FABRICACION.

### 2.3.1 Recepción de Materias Primas.

Una vez elegidas las características del envase a elaborar, se elige la formulación porcentual adecuada. Es necesario proveerse de las materias primas más convenientes, que cumplan determinadas exigencias de pureza y granulometría; esto se logra cotejando los resultados de los análisis de control, con las especificaciones previamente fijadas para cada materia prima.

Se pide primero, que las materias primas a utilizar, sean abundantes para asegurar un suministro continuo, sin tener que calcular las formulaciones cada vez que se alimenta el horno. También se busca que la materia prima sea barata para mantener bajos los costos de producción.

La materia prima se recibe por ferrocarril o en trailers. Al llegar a la planta, se analiza antes de su recepción. Los parámetros que se revisan son:

Composición Química. La finalidad es conocer el porcentaje de sustancias que interesan, en una cantidad determinada del material que se recibe. Esto se logra por medio de determinaciones gravimétricas, volumétricas o instrumentales.

Pureza. Para determinar qué contaminantes contiene y si su presencia se ajusta a los parámetros de tolerancia establecidos. Se emplea el microscopio petrográfico de polarización, de forma que cualquier sustancia que no corresponda al mineral deseado, sea identificado por su índice de refracción.

Granulometría. El tamaño de partícula no debe ser muy pequeño para que al entrar al horno, las llamas no lo arrastran, tapando los regeneradores del mismo. Tampoco deben ser muy grandes porque se dificulta entonces el proceso de fundición. Se aceptan materiales cuya granulometría se encuentre entre las mallas 15 y 100 según el material de que se trate.

Una vez realizado el análisis de composición y pureza de la materia prima, esta se almacena en silos para ser utilizada posteriormente. Con los resultados obtenidos, se realiza la formulación que logre el vidrio deseado. Dicha formulación varía cada vez que cambia la composición de la materia prima recibida.

### 2.3.2 Formulación.

Se acostumbra clasificar a las materias primas en dos grupos:

**Componentes Principales:** Forman parte de la composición del vidrio en un porcentaje mayor al 1 o 2% en peso (silice, alúmina, óxido de calcio, magnesio, sodio, etc.). Cumplen la función de modificadores de red (tabla 4).

**Componentes Menores.** Entran a la formulación en pequeña proporción, ya sea como impurezas o son agregados como afinantes, colorantes, oxidantes, reductores, etc (tabla 5).

Cuando se obtiene la formulación adecuada, el paso siguiente es el pesado de los materiales y su mozcado para obtener la formulación programada. La mayoría de las fábricas de vidrio funcionan sobre la base de un programa de producción continua, por lo que se cuenta con básculas a la salida de los silos, que pueden ser programadas para pesar la misma cantidad de material, cada vez que se requiera. Es importante, al momento de elaborar la formulación, calcular las pérdidas de material producidas por la alta temperatura del proceso (pérdidas por ignición).

La mezcla preparada, puede distribuirse en carritos individuales y así alimentarse al horno o bien almacenarse en un silo único que alimenta en forma continua al horno correspondiente. Dentro de esta mezcla se incluye la podacera propia, para ser reprocesada.

### 2.3.3 Fundido.

En el horno se efectúa la transformación de las materias primas por fusión y combinación de las mismas, produciéndose una masa homogénea que será moldeada en las máquinas. El horno consiste en una tina rectangular de dimensiones que pueden variar de 10 a 70m y cuya

TABLA 4  
COMPONENTES MENORES EN LA FORMULACION DE VIDRIO COMERCIAL.

P.F. °C	Función en el vidrio	Materia prima más común	% en peso (teórico) en la materia prima
1.720	Formador de red	Arena silicea: cuarzo	100
2.015	Estabilizador de red	Feldespatos <sup>1</sup>	15 al 35
460	Formador de red	Bórax anhidro (B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> Na <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	69,2
desc.	Modificador de red	Soda solvay (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	58,5
desc.	Modificador de red	Potasa (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) (o feldespatos)	68,1
1.700	Modificador de red	Esposumeno, Li <sub>2</sub> O.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SiO <sub>2</sub> <sup>3</sup>	8,0
2.580	Modificador de red	Calizas (CaCO <sub>3</sub> )	56,8
2.800	Modificador de red	Dolomita (Mg, Ca(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ) <sup>4</sup>	21,8
888	Aumenta índice refracción	Litargirín (PbO); minio (Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	100; 97,7
1.975	Aumenta resistencia química	ZnO	100
315	Afianante y decolorante	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ("arsénico")	100
656	Afianante y decolorante	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100
1.360	Opalizante	Fluorita (CaF <sub>2</sub> )	100
580	Opalizante	Cenizas de huesos, Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>5</sup>	62,8
685	Decolorante	Selenio (Se)	100



TABLA 5

AGENTES DE COLORACION UTILIZADOS EN EL VIDRIO.

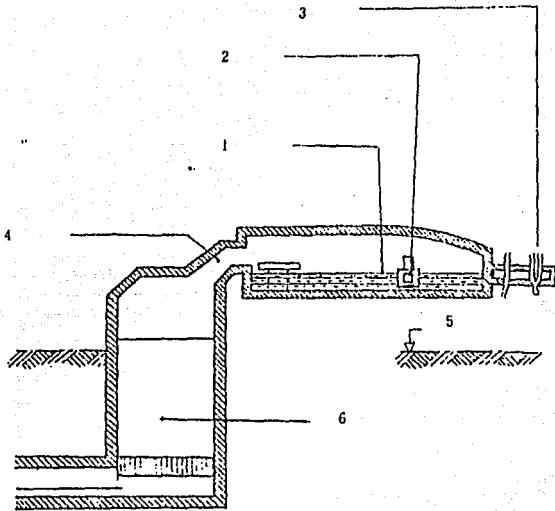
<u>COLOR</u>	<u>AGENTE DE COLORACION</u>
ROJO	OXIDO CUPRICO SULFITO DE CADMIO
AMARILLO	OXIDO FERRICO OXIDO DE ANTIMONIO
VERDE AMARILLO	OXIDO DE CROMO
AZUL	OXIDO DE COBALTO
VIOLETA	MANGANESO
NEGRO	OXIDOS DE HIERRO EN GRANDES CANTIDADES
OPALO	FLORURO DE CALCIO
AMBAR	CARBON Y COMPUESTOS DE AZUFRE.

profundidad puede variar entre 60 y 120 cm. Esta tina se denomina tanque de fundición. Su pared delantera tiene una abertura, siempre por debajo del nivel del vidrio, conocida como garganta y que comunica con otra tina más pequeña, de forma semicircular, conocida como refinador o tanque de trabajo. Todo el horno está cubierto por una bóveda refractoria a 1 o 1.5m sobre el tanque. Los quemadores pueden situarse en la parte posterior del horno o a sus costados. En ambos casos, se aumenta el rendimiento del combustible precalentándolo; esto se logra por medio de un sistema de recuperación de calor, consistente en grandes emparrillados de material refractorio, que es calentado por los gases producidos en la combustión por los quemadores del lado opuesto. Al cabo de un tiempo predeterminado, los quemadores se apagan y encienden los del lado opuesto. Atrás de los quemadores se encuentran estas cámaras llamadas regeneradores, cuya función es calentar el aire que se va a utilizar para la combustión. En el interior del horno se alcanzan temperaturas de 1500°C y el aire precalentado se encuentra a 1400°C al momento de la combustión. Las temperaturas necesarias para la fundición del vidrio son entonces, mayores que las necesarias para la fundición del hierro o el acero.

#### 2.3.4 Afinado.

La mezcla se incorpora al horno en forma regular y entra por la parte posterior o por un lado; a medida que va flotando sobre el vidrio fundido, va reaccionando y fundiéndose de tal forma que al llegar a las 2/3 partes de la longitud del tanque, se ha incorporado completamente al vidrio fundido y se hunde en el mismo. Durante el trayecto sobre el vidrio, se desprenden los gases de reacción. Una vez fundido, el vidrio caliente, menos viscoso, pasa por la garganta al refinador; esto genera turbulencias en la masa fundida, forzando la salida de las burbujas que se encuentran atrapadas en el interior del vidrio. En el refinador se desprenden dichas burbujas y el vidrio sufre un primer enfriamiento de 1500 a 1350°C. Sale entonces por unos canales conectados al refinador y provistos de su propio sistema de calentamiento, para el acondicionamiento del vidrio. Al final de cada canal, se encuentra un tazón cuya parte inferior posee un orificio por

FIGURA 4

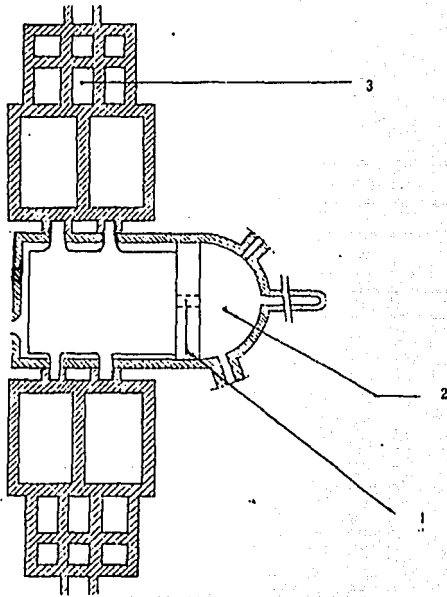


HORNO PARA VIDRIO.  
HORNO DE CULATA, VISTA LATERAL.

- 1 Vidrio Fundido.
- 2 Garganta o Puente.
- 3 Alimentador de Vidrio Fundido.
- 1 Alimentador de Combustible.
- 5 Nivel de la Fábrica.
- 6 Regenerador.

FALLA DE ORIGEN

FIGURA 5.



HORNO DE FUEGO CRUZADO.  
VISTA SUPERIOR.

- 1 Garganta
- 2 Afinador
- 3 Regenerador.

FALLA DE ORIGEN

el que sale el vidrio a una máquina de conformado. Dicho orificio se regula para formar una, dos o tres gotas simultáneamente, mediante anillos refractarios intercambiables. Para poder afinar el ajuste de la cantidad de vidrio, existe semisumergido un tubo refractario cuya altura regula el pasaje de vidrio. En su interior hay una aguja refractaria que actúa bombeando alternativamente, ayudando a que el vidrio salga en forma pulsada por el orificio.

Por debajo del anillo hay unas tijeras que cortan en el momento preciso el vidrio pulsado por la aguja. El número de cortes por minuto es variable, dependiendo del tamaño del artículo.

### 2.3.5 Moldeado.

Las gotas de vidrio fundido son conocidas como velas, que pueden tener diferentes formas antes de ser colocadas en el molde, así como un peso que puede ir de 14g a 1.16Kg (82). Las máquinas que moldean las velas pueden:

- 1.- Trabajar por prensado. Se utiliza para platos, fuentes, tazas, vasos, etc.
- 2.- Trabajar por soplado para producir artículos como botellas, tarros, etc. (figuras 6 y 7).

En el equipo de formado de envases existen dos estaciones: en la primera se lleva a cabo el primer soplo o prensado para formar la boca del envase; esto se lleva a cabo en posición invertida. Al mismo tiempo que se forma la boca del envase, el cuerpo recibe un premoldeo obteniéndose un cuerpo vítreo conocido como parísón. Entonces es volteado y transferido a una segunda estación en la que recibe el soplado final que da la forma definitiva y es conducido a una banda metálica calentada con flamas para evitar un choque térmico que fracturaría inmediatamente los envases.

Los moldes se elaboran con dos tipos de aleaciones: para los moldes:

FIGURA 6

PROCESO SOPLO-SOPILO DE ELABORACION DE ENVASES DE VIDRIO.

PRIMERA ESTACION.



ENTREGA DE VIDRIO  
O CARGA.

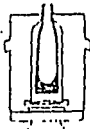


SOPLO PARA HACER  
LA CORONA.



CONTRASOPLO.

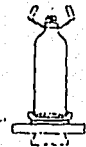
SEGUNDA ESTACION.



RECALENTAMIENTO.



SOPLO FINAL.



SACADO DEL  
ENVASE.

FALLA DE ORIGEN

FIGURA 7.

PROCESO PRENSA-SOPLO DE ELABORACION DE ENVASES DE VIDRIO.

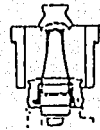
PRIMERA ESTACION.



ENTREGA DE VIDRIO  
O CARGA.

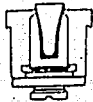


PRENSADO POR PISTON  
(INICIO).

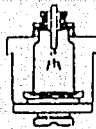


PRENSADO  
COMPLETO.

SEGUNDA ESTACION.



RECALENTAMIENTO.



SOPIO FINAL.



SACADO DEL  
ENVASE.

de los cuellos, se requiere de una aleación resistente a la abrasión; el material empleado se conoce como "bronce minox" y es una aleación de níquel, aluminio y cobre. Para formar el cuerpo del envase, se requiere una aleación de buena conductividad térmica. En este caso se utiliza un material conocido como "fundición gris" y es una aleación de níquel, titanio, molibdeno y vanadio. Los moldes se elaboran de acuerdo con las especificaciones del cliente (figura 8). Una vez elaborados, se hacen los ajustes necesarios, de acuerdo con los datos proporcionados por control de calidad, para ajustarse a especificaciones.

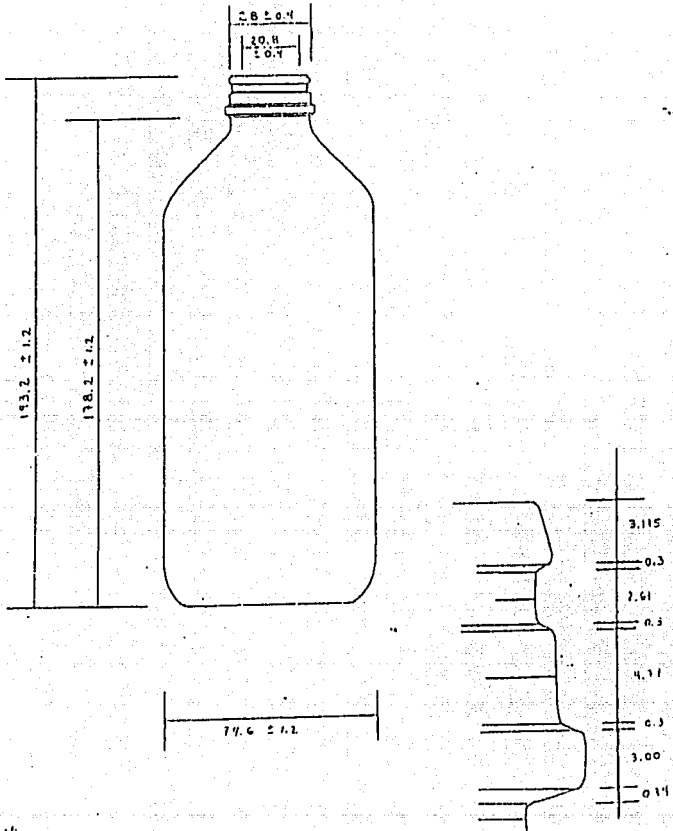
El vidrio a altas temperaturas desgasta el molde poco a poco, provocando que las dimensiones exteriores del envase aumenten con el tiempo; es muy importante que no se altere la capacidad interior del envase por lo que el fabricante de envases compensa el desgaste del molde aumentando la cantidad de vidrio que se introduce en el mismo. La vida útil del molde termina cuando el desgaste es tal, que los envases tienen demasiado peso de vidrio y las dimensiones se encuentran en la tolerancia máxima (82).

### 2.3.6 Recocido.

El artículo recién moldeado, debe sufrir un proceso de "recocido" para eliminar las tensiones irregulares provocadas por el proceso de fabricación. Para ello es transferido a un horno de recocido, consistente en un túnel de 15m de largo por 2.5m de ancho, provisto de una cinta transportadora de tejido de alambre sobre el que se colocan las botellas. Dicho horno tiene un sistema propio de calentamiento en el que la temperatura de la botellas es elevado hasta llegar al punto en que se eliminan las tensiones (temperatura de recocido). El artículo es entonces enfriado lentamente hasta adquirir suficiente rigidez que impida la formación de tensiones residuales. Salido del horno, es revisado para detectar defectos visibles, dimensiones, capacidad, peso, homogeneidad, grado de recocido, resistencia al choque térmico, a la presión hidrostática, durabilidad química y otros requisitos especiales que deba cumplir.



FIGURA 8  
DISEÑO DE UN ENVASE DE VIDRIO.



acát. min

Las botellas recién formadas son vulnerables a daños en su superficie, por lo que se presta mucha atención a evitar que toque otros objetos. La resistencia de los envases de vidrio está en directa relación con las condiciones en que se encuentra la superficie del vidrio. El vidrio es resistente a la compresión pero débil a los esfuerzos de tensión. Cuando se encuentra sometido a dichas fuerzas, el daño en la superficie concentra la fuerza, provocando la ruptura.

Como los envases se encuentran sometidos a frotamientos y golpeteos, los fabricantes de envases han trabajado para minimizar los efectos negativos de estos manejos, mejorando la superficie externa de los envases recién formados. Este tratamiento consiste en el recubrimiento de la superficie externa y tiene lugar en dos fases:

1.- Se hace pasar el envase recién formado por un túnel en el que se encuentra una atmósfera de sales metálicas vaporizadas o compuestos organometálicos vaporizados. El metal comúnmente empleado es estaño o titanio. El objetivo consiste en reemplazar los iones de sodio en la superficie del vidrio, por los iones estaño o titanio, comparativamente más grandes y que fortalecen la superficie aumentando su resistencia a la compresión (6).

2.- Se aplica una capa lubricante, después del recocido, que permita el choque de los envases entre sí sin que se rayen o estrellen. Por lo general se aplican derivados de polietileno glicol o polietilenos de bajo peso molecular, ácidos grasos como el oléico o silicón (82).

Estos tratamientos alteran, en consecuencia, la respuesta de los envases a los adhesivos utilizados comúnmente para el etiquetado. Se han desarrollado recubrimientos de resinas que, al aplicarse en la superficie de los envases, permiten el etiquetado o la impresión de diferentes decorados. El vidrio puede pigmentarse ya sea desde el momento del fundido en los tanques o bien se adiciona el material colorante (tabla 5) en los canales de alimentación de vidrio que salen del refinador, de manera que puedan fabricarse órdenes pequeñas de colores especiales, sin necesidad de tener un horno llano de vidrio

coloreado (52). También es posible rociar una resina sintética coloreada a los envases transparentes y fijarla mediante un catalizador (5).

Estos tratamientos se aplican a los envases recién formados, antes de entrar al horno de recocido para que el calor permita la fijación de dichos agentes a la superficie del vidrio.

### 2.3.7 Decorado.

Se pueden colocar etiquetas o películas plásticas previamente impresas. Los plásticos empleados pueden ser poliestireno o PVC (6). Generalmente se emplea el decorado por material cerámico suspendido en medio termoplástico. Dicho material es precalentado a 60 o 70°C para fundirlo y hacerlo pasar por las mallas que contienen el diseño. El material se adhiere a la superficie y al pasar al horno de recocido se integra a la superficie del vidrio; posteriormente se enfria lentamente para eliminar esfuerzos.

## 2.4 CONTROL DE CALIDAD

Las exigencias de aplicación de los envases de vidrio, son cada día más numerosas y específicas puesto que tienen que adaptarse a la automatización de las líneas de elaboración donde son sometidos a procesos cada vez más críticos. Estas condiciones exigen envases cada vez mejores y capaces de soportar las condiciones de llenado.

### 2.4.1 En la Materia Prima.

Se realiza un análisis de composición así como de granulometría y se cuantifica la cantidad de contaminantes. Las especificaciones que se manejan, son las siguientes:

**Arenas y Cuarzo.** Su principal contaminante es el óxido férrico, que imprime al vidrio una coloración verdoso amarillento. La coloración de la arena es ya un indicio del contenido de hierro.

Granulometría: Menor a malla 100 (0.8 - 0.2mm).

Humedad: 0.5 - 1.0%

Pureza: 99.5% mínimo.

Oxido Férrico: 0.05% máximo.

**Feldespatos:** Introdúcen al vidrio alúmina y óxido de potasio, así como cantidades variables de óxido de sodio.

Silice: 64 - 68% máximo.

Alúmina: 18% mínimo.

Oxido de Potasio: 10% mínimo.

Oxido de Sodio: 3 - 6% mínimo.

Oxido Férrico: 0.05% máximo.

Oxido de Calcio: 1% máximo.

Oxido de Magnesio: 0.2% máximo.

Humedad: 0.4% máximo.

**Carbonato de Calcio.** Introduce óxido de calcio a la composición del vidrio

Oxido de Calcio: 55% mínimo.

Oxido Férrico: 0.1% máximo.

Oxido de Magnesio: 1% máximo.

Silice: 2% máximo.

**Dolomitas.** Son carbonatos dobles de calcio y magnesio. Sus especificaciones son las mismas que el carbonato de calcio

**Barita.** Es sulfato de bario, para vidrios satinados o de alto índice de refracción.

Sulfato de Bario: 70% mínimo.

Color: Blanco.

**Sulfato de Sodio:** Sustituye parcialmente al carbonato de calcio en el vidrio ambar.

Pureza: 92% mínimo.

Cloruros: 2% máximo.

Insolubles en Agua: 1.8% máximo.

Oxido Férrico: Trazas.

Humedad: 1% máximo.

Densidad Aparente: 1.5 g/ml.

**Borax:** Introduce el anhídrido bórico para vidrios borosilicato neutros y termorresistentes. Preferente, se utiliza anhidro.

**Carbonato de sodio.** Tiene la función de fundente, formando silicato de sodio.

Pureza: 98% mínimo.

Cloruros: 1% máximo.

Insolubles en Agua: 0.1% máximo.

Oxido Férrico: Trazas.

Humedad: 1% máximo.

Densidad Aparente: 1.5 g/ml.

**Pedacaría de Vidrio:** Su función es ahorrar carbonato de calcio, de alto precio, y arena al introducir silicatos formados previamente. Es muy importante que venga limpia y clasificada por colores. Se prefiere utilizar pedacaría propia pues la composición es igual a la del vidrio a obtener. En pedacaría foránea, sus especificaciones son mencionadas en la tabla 6.

TABLA 6.  
ESPECIFICACIONES PARA VIDRIO FORANEO.

1.- IMPUREZAS.

TIPO.	TAMARO (mm)	MAXIMO PERMITIDO. (g/Ton)
- Metales no Magnéticos	< 12	20
- Metales Magnéticos	< 1	5
- Porcelana, barro, piedras escoria.	< 12	60
- Plástico, corcho, sustancias orgánicas.	< 12	60
- Papel y etiquetas pegadas.	< 12	400

2.- GRANULOMETRIA.

TAMARO (mm)	CONTENIDO (%)
25	min. 5
16 - 25	min. 16
8 - 16	min. 35
3.15 - 8	máx. 35
1 - 3.15	máx. 8
1	máx. 1

3.- IMPUREZAS DE VIDRIO COLOREADO.  
(PARA VIDRIO CRISTALINO)

	CONTENIDO (g/Ton).
Vidrio Semicristalino	200
Vidrio Ambar	100
Vidrio Verde	50

## 2.4.2 En el Producto Terminado.

### 2.4.2.1 Resistencia Mecánica.

El vidrio no es dúctil ni maleable; no sufre deformaciones permanentes por la acción de un esfuerzo sino que, llegado al límite de su resistencia se produce la fractura por un esfuerzo de tracción, no de compresión. En el caso de los envases de vidrio, la fractura se produce con tensiones de 3000 a 8000 psi. La resistencia mecánica se determina en base a la distribución del vidrio en el envase, la forma del mismo y el grado de recocido alcanzado. Dicha resistencia puede aumentarse mediante la aplicación de sustancias capaces de crear una mayor compresión superficial o que formen una película de mayor dureza que el vidrio o lubriquen la superficie del envase. Los principales tipos de fractura se deben a impactos, choques térmicos o presión en el interior del envase; en los tres casos, se originan descompensaciones en las fuerzas de tensión internas (82).

La resistencia al rayado de los vidrios, se sitúa entre la del hierro dulce y el acero endurecido, siendo los vidrios de alta sílice los más resistentes. Clasificándolos por resistencia obtenemos:

- Sílice (cuarzo).
- Vidrios borosilicato.
- Vidrios alta alúmina.
- Vidrios soda-cal.
- Vidrios de plomo.

### 2.4.2.2 Resistencia a la Presión Interna.

Permite medir la resistencia a la presión hidráulica que pueden soportar los envases, sobre todo los destinados a contener bebidas gaseosas o productos llenados a presión. Se detectan así defectos peligrosos que pudieran tener los envases como repartición deficiente del vidrio, calcinaduras, estrelladuras, golpes, etc.

Se realiza aplicando por la boca de un envase, sostenido por su cuello y lleno de agua, una presión creciente gradual, manteniéndose en cada

valor por un tiempo previamente asignado. Se determina si los envases soportan una presión fijada como valor mínimo y el porcentaje de rotura a presiones progresivamente mayores.

#### 2.4.2.3 Resistencia Térmica.

En este caso, los envases deben soportar cambios bruscos de temperatura durante los procesos de lavado, llenado en caliente, pasteurizado, esterilización, etc. Los envases de vidrio de buena calidad, soportan con éxito toda clase de manipulaciones a que son sometidos en las líneas de envasado. Envases no homogéneos, con tensiones residuales elevadas, golpes y rayaduras, disminuyen la resistencia térmica de los envases.

La determinación consiste en calentar los envases sumergidos en un baño a temperatura especificada y transferirlo posteriormente a un baño frío. La rotura se produce por el esfuerzo mecánico de tracción que se produce en el salto térmico.

#### 2.4.2.4 Homogeneidad del Vidrio.

Se dice que un vidrio es homogéneo cuando está libre de inclusiones (cuerdas, vetas, etc.) visibles a simple vista o mediante la observación con luz polarizada.

Se preparan cortes anulares de los envases y se hace la observación de los anillos sumergidos en un líquido de igual índice de refracción mediante un microscopio, usando luz polarizada, para observar tensiones en el vidrio o esfuerzos de compresión.

De acuerdo con el número de cuerdas visibles, su ubicación y la intensidad de las tensiones máximas medidas se establecen grados para su clasificación:

- A.- Prácticamente libre de cuerdas. Comercialmente perfecta.
- B.- Cuerdas finas, bien distribuidas. Altamente comercial.
- C.- Cuerdas finas bien distribuidas en el interior de la masa, o áreas localizadas de cuerdas finas. Comercial.



- D.- Cuerdas en tensión en la superficie externa. Areas localizadas de cuerdas intensas. Peligroso.
- E.- Capa exterior de vidrio con tensión elevada. Inutilizable.

#### 2.4.2.5 Grado de Recocido.

Este factor influye en la resistencia térmica y mecánica del envase y se deriva del proceso de recocido al que se somete el envase después de su fabricación. Se observa el envase completo en las pantallas de un polaroscopio.

- Grado 1. Intensidad menor a 1 disco.
- Grado 2. Más de un disco - menos de 2.
- Grado 3. Más de 2 discos - menos de 3.
- Grado 4. Más de 3 discos - menos de 4.
- Grado 5. Más de 4 discos - menos de 5.
- Grado 6. Más de 5 discos - menos de 6.

#### 2.4.2.6 Resistencia Química del Vidrio.

Conocida como durabilidad química, es la resistencia del vidrio a la acción corrosiva de los productos en contacto con él. sea agua, sustancias orgánicas o inorgánicas y sus soluciones, humedad ambiente. En general, la resistencia del vidrio es muy elevada pero no absoluta. Vidrios en contacto prolongado con agua o soluciones acuosas, pueden sufrir una alteración superficial por la cesión de algunos componentes del vidrio, particularmente bases o por la formación de escamas separadas de la superficie del vidrio. En bebidas de elevada graduación alcohólica, pueden producirse procesos de corrosión con formación de escamas y un depósito de aspecto poco agradable. En otras bebidas se pierde el "bouquet" por bases que ceden vidrios de mala calidad. Lo mismo ocurre con perfumes y extractos. En medicamentos y particularmente los inyectables, la cesión de bases puede disminuir su potencia activa o incluso conceder cierta toxicidad.

La diferencia de comportamiento de los diferentes vidrios, radica en su naturaleza química y por la acción de temperatura y tiempo de contacto. Los ensayos de laboratorio buscan acelerar el proceso de ataque mediante un tratamiento con agua o soluciones a elevada temperatura. Son varios los métodos que se emplean:

- a) Ensayos con agua a elevada temperatura, ebullición o por debajo de este punto. El incremento de ataque es tal que una hora a 123°C equivale a un año a 30°C.
- b) Aumentando la superficie al ataque al triturar el vidrio y controlando su granulometría.

Se fijan condiciones standar de trabajo y se determina la alcalinidad cedida por una cantidad medida de vidrio molido o la alcalinidad cedida por el envase completo.

En base a los resultados obtenidos, se fijan tres tipos de vidrio:

- Tipo I.- Vidrio borosilicato muy resistente y apto para inyectables.
- Tipo II.- Vidrio soda-cal desalcalinizado utilizable en inyectables.
- Tipo N/P.- No parenteral. Vidrio soda-cal de uso general para envase de productos a utilizarse por vía oral.
- Tipo III.- Vidrio soda-cal de resistencia química superior al promedio; apto para inyectables en polvo que se disuelven antes de inyectarse.

#### 2.4.2.7 Transparencia y Color.

El factor determinante del color del vidrio, es la capacidad de absorber selectivamente y en un determinado grado las distintas longitudes de onda del espectro luminoso, dando como resultado un color cuyas características están en relación directa con la absorción y espesor del vidrio.

Cuando la absorción es pequeña y distribuida de modo uniforme en todo el espectro, el vidrio parece incoloro y limpio. Si la absorción es uniforme y mayor, tendrá un tono grisáceo. Si la absorción no es uniforme sino mayor para un color determinado, la luz transmitida aparecerá del color complementario y si la absorción es suficientemente intensa, el vidrio aparecerá negro y opaco a la luz. La absorción puede trascender los límites del espectro visible teniendo vidrios que absorben luz ultravioleta o en zonas del infrarrojo. Esta capacidad depende de la composición química, proceso de fundido y elaboración.

A fin de poder calificar el color de un vidrio, es necesario realizar determinaciones espectrofotométricas midiendo la transmisión de la luz para diferentes longitudes de onda con intervalos de 10m y referir los valores obtenidos a un espesor dado (generalmente 10mm). Se miden tres características:

- a) Longitud de onda dominante.
- b) Pureza.
- c) Brillo o eficiencia visual.

Numerosas sustancias son sensibles a la acción de la luz, en especial la luz solar y sufren deterioro por la acción directa de la energía luminosa absorbida o por la acción catalítica que ejerce en los procesos químicos como las oxidaciones. En los aceites y grasas, la luz provoca enranciamiento; en ciertos jugos cítricos y derivados, se produce oscurecimiento por del desarrollo de un color marrón, además de cambios en el sabor y color.

El efecto más marcado se observa en las longitudes de onda más cortas, cercanas al ultravioleta, siendo máximo en dicha zona; es por eso que cuando se necesita protección luminosa en un envase de vidrio, debe evitarse la transmisión de las longitudes de onda más cortas.

Aunque casi todos los vidrios, aún los incoloros, absorben longitudes de onda menores a los 300 nm las radiaciones ultravioleta que alcanzan los 400 nm son bastante activas y no son retenidas del mismo modo por

por todos los vidrios sino que su absorción depende de la composición de dichos vidrios. El uso de determinados colores en el vidrio, viene impuesto por la tradición y experiencia, siendo el ambar el color más utilizado para la protección de rayos UV. El grado de protección se determina por medio de mediciones espectrofotométricas. Se sabe que el color humo absorbe longitudes de onda entre 290 y 320 nm (ultravioleta) junto con el rojo; el verde absorbo de 400 a 450 nm (azul - violeta) (82).

#### 2.4.2.6 Otros Requisitos.

Son principalmente requisitos de tipo dimensional, como la capacidad máxima de un envase (capacidad al derrame), altura, diámetro, ancho, peso, etc. Dichos requisitos no dependen de la naturaleza del vidrio, sino de las características propias del envase. Dentro de estos requisitos también se encuentra la ausencia de defectos visibles en el envase. Se determinan mediante el uso de aparatos ópticos y la revisión visual de los envases al final de cada fase del proceso de fabricación (figura 9) (tabla 7) (82).

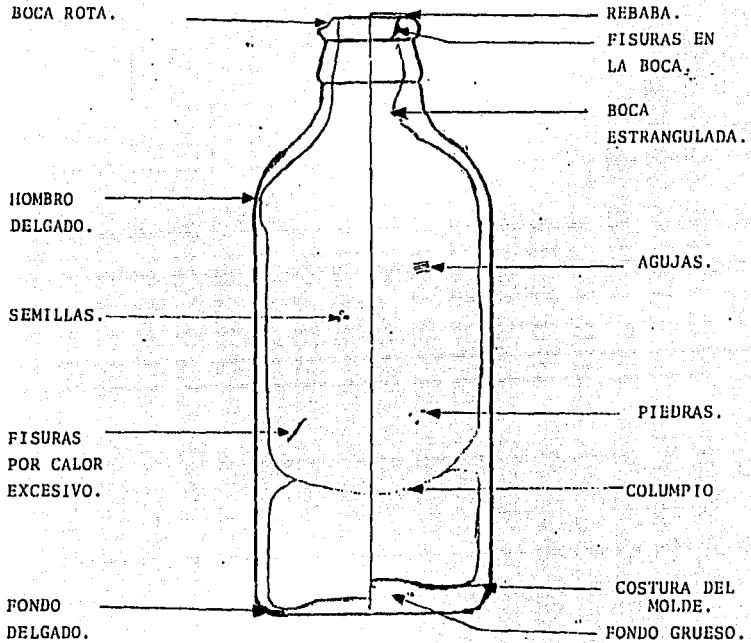
TABLA 7.

ESPECIFICACIONES STANDAR PARA ENVASES DE VIDRIO.

Alura		Tolerancia*	Capacidad		Tolerancia*	Peso		Tolerancia*
mm		mm	ml		ml	g		g
menor	a 114.30	0.7930	menor	a 3.70	0.2955	menor	a 38.28	1.77
114.30	a 215.99	1.1906	3.70	a 14.78	0.4613	38.28	a 56.70	2.69
215.99	a 324.80	1.5875	14.78	a 29.56	0.9236	56.70	a 70.88	3.54
304.00	a 391.50	1.9844	29.56	a 59.13	1.3857	70.88	a 85.05	4.42
361.00	a 504.00	2.3813	59.13	a 96.08	1.8477	85.05	a 105.31	5.30
mayor	a 523.00	3.1750	96.08	a 125.64	2.3095	105.31	a 170.10	7.39
			125.64	a 147.81	2.7715	170.10	a 212.93	8.86
Diámetro		Tolerancia*	147.81	a 177.28	3.2334	212.93	a 263.33	10.62
mm		mm	177.28	a 216.50	3.6953	263.33	a 305.90	14.18
menor	a 25.40	0.3959	236.50	a 295.63	4.6191	305.92	a 401.95	17.72
25.40	a 57.15	0.7938	295.63	a 351.75	5.5470	401.95	a 567.00	21.28
57.15	a 76.20	1.1903	351.75	a 473.70	6.4665	567.00	a 800.40	24.81
76.20	a 107.93	1.5875	473.00	a 591.25	7.3905	800.40	a 793.00	28.36
107.93	a 146.05	1.9844	591.25	a 857.31	8.2363	793.00	a 996.25	35.99
146.05	a 171.45	2.3813	857.31	a 1.093.01	11.0629	992.25	a 1.131.00	42.53
171.45	a 199.85	2.7781	1.093.01	a 1.359.88	12.9375	1.134.00	a 1.360.80	49.61
mayor	a 199.85	3.1750	1.359.88	a 1.685.06	14.7813	1.360.80	a 1.529.90	56.70
			1.685.06	a 2.217.19	18.4782	1.529.90	a 1.701.00	61.78
Ancho		Tolerancia*	2.217.19	a 2.800.44	22.1718	1.701.00	a 2.044.20	70.60
mm		mm	2.800.44	a 3.399.69	25.8672	2.044.20	a 2.494.80	85.05
menor	a 41.28	0.7930	3.399.69	a 4.139.75	29.5825	2.494.80	a 3.175.20	113.40
41.28	a 89.85	1.1506	4.139.75	a 4.877.81	44.3138	3.175.20	a 4.536.00	141.75
89.85	a 101.60	1.5875	4.877.81	a 5.676.00	59.1250	4.536.00	a 6.352.40	212.62
101.60	a 127.00	1.9844	5.676.00	a 7.566.00	88.6879	6.352.40	a 8.164.50	283.70
127.00	a 152.40	2.3813	7.576.00	a 11.355.00	118.2500	8.164.50	a 9.979.20	354.36
152.40	a 177.80	2.7781	11.355.00	a 18.925.00	177.3750	9.979.20	a 11.364.00	425.25
177.80	a 222.25	3.1750	mayor	a 18.925.00	238.5000	mayor	a 9.979.20	425.25
mayor	a 222.25	3.9688						

FALLA DE ORIGEN

FIGURA 9.



DEFECTOS COMUNES EN UN ENVASE DE VIDRIO.

FALLA DE ORIGEN

**3.- EL VIDRIO EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**

Se piensa que la fabricación de recipientes de vidrio es una derivación de la alfarería. Para el año 1550 a.C. la fabricación de vidrio era una industria de importancia en Egipto, produciéndose pequeñas botellas y ornamentos de varios colores, pero ninguno transparente. El prensado de vidrio en moldes para obtener tazones y copas, data del 1200 a.C. Se piensa que los fenicios crearon la caña para soplado de vidrio, hacia el año 300 a.C. Los recipientes de vidrio alcanzaron gran difusión en la época del Imperio Romano, pero el uso de recipientes de vidrio como envases, es mucho más reciente. El vidrio transparente se descubrió hasta principios de la Era Cristiana.

El uso de envases de vidrio permitió la conservación de alimentos y bebidas durante largos periodos de tiempo así como facilitó el transporte y distribución de los mismos. El embotellado de bebidas alcohólicas con fines de conservación, se inició en el siglo XVII (1650) con la invención del tapón de corcho. Dichos envases fueron botellas de fabricación manual y color oscuro debido al alto contenido de hierro y otras impurezas. Hacia fines del siglo XIX se desarrolla la producción automática, en forma continua de botellas y frascos. Hoy en día, la fabricación de envases constituye, en tonelaje, la principal producción de la industria vidriera en todo el mundo.

### 3.1 IMPORTANCIA DEL VIDRIO EN EL ENVASADO DE ALIMENTOS.

La función básica de un envase es proteger al producto hasta el momento de su consumo. Las características que un empaque para alimentos debe tener, son:

- Accesibilidad en precio y tecnología.
- Facilidad de apertura.
- Poder ser utilizado en hornos de microondas.
- Ser resellable.
- Ser reciclable.
- Ser seguro en su manejo.



Las formas de empaque pueden agruparse en tres categorías principales: rígido, semirrígido y flexible.

Los envases rígidos son elaborados con una forma bien definida, a partir de materiales fuertes, de manera que conserven su forma cuando contengan el producto y no se deformen, a menos que sean sujetos a esfuerzos lo suficientemente grandes para destruirlo o dañar en forma importante su estructura.

Los envases semirrígidos tienen una apariencia definida, pero están formados por materiales más débiles que los anteriores, de manera que, aunque no se pretende que se distorsionen en forma importante al contener el producto, estos se deforman sin daño importante a su estructura por la aplicación de una fuerza moderada.

Los envases flexibles están diseñados para tener una forma definida cuando están vacíos, pero son lo suficientemente flexible para adaptar su aspecto externo al producto que contienen y pueden deformarse o aplanarse fácilmente a menos que sean reforzados por la rigidez del producto.

Los recipientes de vidrio son clasificados dentro de los envases rígidos, por tener un aspecto definido, muy resistentes a la compresión y químicamente inertes. El vidrio es un material que presenta ventajas a veces muy apreciables con respecto a otros materiales, cuando se trata de obtener una adecuada conservación y,

La vida de anaquel de un envase para alimentos, depende de la calidad inicial del producto que contiene, el grado de alteración que puede permitirse en el alimento, las condiciones ambientales en el interior del envase, sus propiedades de barrera contra gases, vapores o humedad del material de empaque y la compatibilidad del alimento con el envase (8).

La amplia gama de composiciones y propiedades que ofrece la industria vidriera, permite seleccionar el tipo de vidrio más adecuado para cada uso en particular e introducir cambios en la composición o proceso de manufactura del envase, para lograr las características deseadas.

La resistencia química del vidrio es muy elevada, lo que le convierte en un excelente envase para productos susceptibles de modificaciones químicas por interacción con el envase que los contiene. El vidrio no es poroso, por lo que es una barrera eficaz contra la contaminación del producto por olores o sabores desagradables y, con la elección del cierre adecuado, es posible obtener un envase hermético. Dichos cierres pueden ser:

- a) Tapas metálicas externas de rosca, bayoneta o corona; con juntas de corcho, goma especial o recubrimiento plástico.
- b) Tapas internas como corchos, taponos de goma, plástico o vidrio esmerilado.
- c) Sellado por soldadura como en el caso de las ampollitas.

La transparencia del vidrio provee excelente visibilidad del producto, lo que es muy conveniente en los supermercados para que el cliente pueda revisar el estado del producto. Sin embargo, el paso de luz ultravioleta puede promover el deterioro del producto por reacciones fotoquímicas activadas por dicha luz. Una solución sería el uso de vidrios de color pero si lo que se desea es un vidrio claro, pueden utilizarse vidrios que contengan óxido de cerio, que absorbe fuertemente en el ultravioleta y que a la vista es incoloro.

El vidrio puede ser formulado para resistir grandes diferencias de temperatura, por lo que sus envases pueden resistir los procesos térmicos que la industria de alimentos utiliza para asegurar la higiene de sus productos. Gracias a su superficie perfectamente lisa y la ausencia de porosidad, el vidrio garantiza máxima higiene y facilidad de limpieza.

Por el contrario, su resistencia a los golpes no es muy elevada, desventaja importante. La resistencia mecánica del vidrio está determinada por la integridad de su superficie, por lo que se han logrado notables avances en su tratamiento, tendientes a disminuir el daño recibido por frotamiento con otros envases o las máquinas, durante el llenado de los mismos. Dichos tratamientos consisten en el recubrimiento de la superficie exterior del envase con óxidos metálicos como estaño o titanio, así como películas plásticas.

En la actualidad, la industria del vidrio fabrica una enorme variedad de envases destinados a las más diversas aplicaciones:

**Botellas.** Recipientes de cuello mucho más angosto que el cuerpo. Dicho cuello facilita servir el contenido y reduce el tamaño del cierre. Su uso principal es para líquidos, con capacidades entre 50 y 1500 ml.

**Frascos.** Recipientes de boca muy ancha, que no tienen un cuello apreciable. Dicha boca permite introducir los dedos o utensilios para remover porciones de su contenido. Son utilizados para líquidos, sólidos y semilíquidos como salsas espesas y pastas.

**Tarros.** Como los frascos pero terminados como un vaso; no tienen cuello ni terminado ni rosca. Se utilizan para jaleas y compotas.

**Potes.** Similares a los tarros pero su altura es menor al diámetro del cuerpo.

**Botellones.** Son grandes botellas con agarraderas. El cuello generalmente es corto y angosto. Sus capacidades varían desde 1.5 lt.

**Garrafrones.** Son envases muy grandes, de aspecto como una botella de cuello corto y capacidad de 11 lt en adelante.

Viales y Ampolletas. Son envases muy pequeños, de empleo principal en la industria farmacéutica. Los viales se emplean para envasar pequeñas cantidades de alimento como especias y colorantes.

Todos los envases, salvo los viales y ampolletas, se denominan envases de primera elaboración por ser conformados a partir del vidrio fundido. Se elaboran con vidrio silicato sódico-cálcico. Los últimos se elaboran a partir de tubo de vidrio borosilicato y por esto se denominan envases de segunda elaboración.

Para elegir el envase de un alimento, hay que tomar en cuenta las dimensiones de tal forma que el producto se ofrezca en las dimensiones y presentación más prácticas, su llenado sea fácil, sea resistente a los choques térmicos que implican los procesos de pasteurización, esterilización o sanitación así como que disponga de un cierre que permita una conservación adecuada del producto.

Las causas principales del deterioro de los alimentos, debido al empleo de embalajes o recipientes son debidas a la solubilización de cantidades más o menos importantes del material constituyente del envase en el producto o la migración desde el envase hacia el alimento de una o varias sustancias contenidas en el material.

Los ácidos orgánicos de los alimentos son generalmente los responsables de la solubilización de los metales en el mismo. Las materias grasas absorben sustancias orgánicas como disolventes, lubricantes, monómeros y plastificantes presentes en los recipientes que los contienen. La intensidad de dichas solubilizaciones es mayor cuanto mayor sea la temperatura, por lo que los alimentos congelados son menos propensos a la contaminación, que los alimentos pasteurizados o esterilizados en un mismo envase.

Las posibles modificaciones que puede sufrir un alimento envasado o acondicionado pueden deberse a:

- a) Cambios fisicoquímicos debidos a la propia naturaleza del envase, que permita el intercambio de gases, vapores o aromas con el exterior.
- b) Cambios químicos por el contacto directo del envase con el producto.

### 3.1.1 Cambios Fisicoquímicos.

#### 3.1.1.1 Humedad.

Dentro de los cambios fisicoquímicos, se observa que un aumento en el contenido de agua provoca aglomeraciones en los productos pulverizados así como amazotamiento de las sustancias higroscópicas como es el caso de la sal. Se observa cristalización de sustancias amorfas y desarrollo de procesos enzimáticos que pueden deteriorar el producto. Las variaciones de humedad alteran también el pH del producto y por lo mismo, sus propiedades químicas (9).

Una disminución de la cantidad de agua en el alimento provoca pérdida de peso en el mismo, modificaciones en la textura o alteraciones en el color. En general, la oxidación de los alimentos se ve favorecida con actividades de agua menores a 0.5; las reacciones de oscurecimiento ocurren en el rango de 0.3 a 0.75, mientras que el crecimiento de moho y las infecciones bacterianas se llovan a cabo con valores de 0.7 y 0.85 (10).

#### 3.1.1.2 Oxígeno.

Las materias grasas sufren enranciamiento (auto-oxidación), produciéndose trazas de heptanal, que causan el característico olor y sabor a rancio, al entrar en contacto con aire y oxígeno. Las reacciones que se llevan a cabo con oxígeno provocan incluso la pérdida de potencia de vitaminas liposolubles (8).

### 3.1.1.3 Luz.

Pueden ocurrir alteraciones en las características organolépticas de los alimentos cuando son expuestos a la luz. La intensidad y longitud de onda, son factores determinantes para las reacciones de degradación. La luz ultravioleta puede provocar cambios visuales en el producto al palidecer colorantes naturales o sintéticos. Vitaminas como la riboflavina o el ácido ascórbico, pueden perder actividad por su exposición a la luz (10).

### 3.1.1.4 Pérdida de Sabor o Aroma.

El sabor y el aroma de los alimentos depende de los aceites esenciales presentes en el mismo por lo que pueden perder su aroma o sabor característico debido a la permeabilidad del envase, permitiendo su migración al exterior. También pueden contaminarse por aromas extraños provenientes del exterior y que pasan a través del envase hasta el producto (10).

### 3.1.1.5 Temperatura.

La conductividad o reflectividad térmica de los envases, pueden modificar la influencia de los cambios externos de temperatura en un producto, al modificarse la velocidad con que se llevan a cabo las reacciones de degradación. Si un envase no es hermético, los cambios de temperatura externa pueden dilatario o contraerlo, forzando el intercambio gaseoso con el exterior (10).

### 3.1.2. Cambios Químicos.

Los envases no adecuados pueden contaminar químicamente al producto cediendo metales o materia orgánica. Aunque dicha cesión sea de trazas solamente, pueden ser suficientes para catalizar reacciones de degradación. Monómeros y oligómeros pueden conferir olores o sabores extraños (acrilatos, fenoles, estireno, fenol, caprolactama,

pollamidas, etc.) (11). Dicho fenómeno es más notorio cuando los envases han sido sometidos a procesos térmicos como pasteurización o esterilización. Se ha observado que los alimentos ricos en grasas o los líquidos alcohólicos, son los productos que se contaminan con mayor facilidad.

También existe la posibilidad de que, a consecuencia de la interacción del alimento con el envase, se formen compuestos que puedan incluso llegar a ser tóxicos (11).

### 3.2 AREAS DE APLICACION.

Los envases de vidrio no solo evitan pérdidas por evaporación, sino que impiden también el paso del oxígeno del exterior; no interaccionan químicamente con los aceites esenciales del producto, ni permiten la migración de aromas provenientes del exterior.

Aquellos productos que tienen una larga vida de anaquel, sin perder sus características, se envasan en vidrio para protegerlos contra la humedad o evaporación, así como para evitar la pérdida de su aroma característico. La cerveza y las bebidas carbonatadas, se envasan en recipientes de vidrio, por la inercia química de este material, así como por su resistencia a la presión interna y a la compresión.

#### 3.2.1 Vinagre.

Se obtiene por fermentación aerobia de jugos de fruta. El principal componente es el ácido acético. Una vez obtenido el vinagre, se añeja en barriles para eliminar sabores indeseables y obtener el aroma característico.

El vinagre es corrosivo para los metales y las sales metálicas disueltas de cobre, hierro o estaño, deterioran las características del producto, por lo que deben evitarse envases de metal. También es susceptible de contaminarse por levaduras silvestres o acéticas, así como por insectos. El ácido acético puede migrar a través de los

plásticos, perdiendo así fuerza el producto envasado.

Por lo general se almacena en barriles de madera o garrafones de vidrio. Para venta al público, se dispone en botellas de vidrio claro, con tapa de rosca. Si se utilizan tapas de metal, estas deben tener recubrimientos internos que no permitan el paso de vapores de ácido, evitando así su corrosión.

### 3.2.2 Encurtidos.

En estos productos se llevan a cabo procesos de fermentación para obtener sus sabores y olores característicos. El producto final se remoja en salmueras con vinagre y se envasa. Para asegurar una vida de anaquel adecuada, los encurtidos se pasteurizan. Son envasados en frascos de vidrio; después de taparlos y sellarlos, se pasteurizan a 73.5°C por 15 minutos. El sellado se realiza inyectando vapor de agua por la boca del recipiente, antes de cerrarlos.

Una desventaja del envasado de encurtidos en envases de plástico, es la migración del vinagre a través de las paredes del envase. Los encurtidos se descomponen con facilidad y si no son pasteurizados, dependen exclusivamente del ácido acético para su estabilidad bacteriológica. Dentro de los encurtidos encontramos pepinillos, eneldo, aceitunas, sauerkraut y nueces, entre otras.

### 3.2.3 Saborizantes y Colorantes.

Existen en gran cantidad y provienen de plantas, árboles y arbustos, además de frutas. Pueden utilizarse en alimentos, perfumes o bebidas preparadas.

Se clasifican comercialmente como especias, semillas aromáticas y hierbas. Tienen en común su fácil descomposición si no son secadas, pues están sujetas a descomposición enzimática. También puede perderse el sabor si no se mantienen en lugares frescos y protegidos del aire, pues su sabor y aroma depende de los aceites esenciales que



contienen.

La mayoría de las esencias de fruta, son estables a temperatura ambiente y los colores son sensibles a la luz. Se requieren en consecuencia, envases que eviten pérdidas de aroma por evaporación y coloreados para proteger de la luz. Así mismo, debe ser resistente al ataque de agua conteniendo ácidos o alcohol, como en el caso de la vainilla que se extrae de los granos secos, por medio de alcohol, a temperatura ambiente.

Las esencias se envasan en pequeños frascos o viales de vidrio y, en el caso de los colorantes, se emplea vidrio ambar. Las especias envasadas en frascos de vidrio, no pierden sabor tan rápido y pueden dosificarse fácilmente mediante tapas de plástico perforadas. Polvos de cebolla o ajo molido, pimiento picado, hojuelas de apio, ralladuras de limón o naranja y hojuelas de mezclas de hierbas, se envasan de esta manera. También se manejan sales y azúcar con sabor, chile piquín, polvos de camarón o cangrejo y curry, entre otros.

#### 3.2.4 Aderezos.

Son emulsiones espesas de aceite en agua, usando yema de huevo como emulsificante. Puede emplearse casi cualquier aceite comestible, pero se utilizan principalmente aceites vegetales. Como contienen ingredientes susceptibles de rancidez, los aderezos deben mantenerse protegidos del calor, oxígeno, metales y luz. Se emplean frascos de vidrio con tapas plásticas o metálicas protegidas por capas de papel. Se sellan con vacío por inyección de vapor, antes de cerrar.

Existe una amplia variedad de aderezos que van desde la mayonesa y los más simples, a base de vinagre y aceite, hasta los más complicados a base de queso roquefort o salsa mil islas. Casi todos son envasados en botellas o frascos de vidrio.

### 3.2.5 Leche y Derivados.

Estos alimentos son muy susceptibles a adquirir olores extraños del medio ambiente. Los glicéridos de los ácidos grasos menores (butírico, capríco, cáprico, láurico y mirístico), son los responsables del sabor característico de la grasa de la leche. El deterioro de estos ácidos grasos, causan la mayoría de los problemas de sabor.

La rancidez es causada por lipasas que hidrolizan los glicéridos, liberando los ácidos grasos de olor y sabor penetrante. La oxidación de la leche produce hidroperóxidos que confieren sabor a sobo. Dicha oxidación es acelerada por calor, ácidos y la presencia de metales, especialmente cobre. La oxidación de los fosfolípidos de la leche, le confiere a esta un sabor a "oxidado".

El contenido vitamínico de la leche se ve afectado por la exposición a la luz, calor y oxígeno. El ácido ascórbico (vitamina C) se deteriora por calor, y oxígeno. La tiamina (vitamina B1) es destruida especialmente por el calor. Las vitaminas B2 y B6 se destruyen por la luz (12).

### 3.2.6 Bebidas e Infusiones.

Esta es la principal área de aplicación de los envases de vidrio. se emplean para embotellar agua mineral gasificada, dado que el agua es muy susceptible a adquirir sabores extraños al estar en contacto con ciertos plásticos o aire. Así mismo, los envases de vidrio resisten la presión interna generada por el gas disuelto en el agua.

#### 3.2.6.1 Café y Té.

El café es una de las bebidas más conocidas en el mundo. Se obtiene del secado, tostado y molido de los granos provenientes de la planta del cafeto. Las características de dicho producto pueden alterarse por evaporación o migración de los aceites esenciales que lo forman, por rancidez de los mismos o por absorción de humedad del exterior cuando se encuentra como polvo seco.

Hasta ahora no ha sido aceptada por el público, la venta de café de grano en frascos de vidrio; sin embargo, este es el principal envase para el café instantáneo, por ser una excelente barrera para la humedad y contra la pérdida de aroma del producto. También presenta como ventaja, la conveniencia de poder abrir y cerrar el envase cada vez, evitándose así la pérdida de sabor y aroma.

El té, al igual que el café, basa su sabor en aceites esenciales y, por lo mismo, requiere del mismo tipo de cuidados. Además debe evitarse el crecimiento de hongos en el producto ya que este no es tostado como en el caso del café. Aunque su presentación clásica es en bolsitas individuales, se ha observado un incremento en la demanda de polvos para preparar té helado, el cual es envasado en frascos de vidrio (12).

Los consomés de res y pollo, se presentan en polvo o como cubos, que se envasan en frascos de vidrio color ambar, para evitar reacciones de oxidación que comuniquen sabores a rancio en el producto.

#### 3.2.6.2 Jugos de Frutas.

Estas bebidas son muy sensibles al deterioro por contaminación microbiana; es por esto que deben pasteurizarse o refrigerarse durante su venta. Los jugos son embotellados calientes, después de ser pasteurizados. El calor del jugo, pasteuriza la botella. El envase utilizado debe ser hermético para evitar contaminaciones, y resistente a las temperaturas de pasteurización.

#### 3.2.6.3 Bebidas en Polvo.

Son polvos listos para preparar bebidas frescas. Los más populares son las limonadas y naranjadas. En estos productos, es importante que el envase que los contiene, los proteja de la humedad. Algunas de estas bebidas se envasan en frascos de vidrio, con una membrana que sella la boca del frasco y tapa con rosca para poder abrir y cerrar a voluntad.

#### 3.2.6.4 Bebidas Carbonatadas.

Estas bebidas son principalmente agua, con la susceptibilidad de adquirir sabores extraños. En estas bebidas se disuelve dióxido de carbono gaseoso, en el agua. Mientras menor sea la temperatura del agua, mayor será la cantidad de gas que puede disolverse a cierta presión. En consecuencia, los envases que las contengan, deben ser resistentes a la presión interna generada por el producto.

También se les añade azúcar, saborizantes y colorantes, por lo que debe evitarse el intercambio de minerales con el envase, que provoquen alteraciones en el sabor, así como también es necesario que el envase no se deteriore con el tiempo.

#### 3.2.6.5 Bebidas Alcohólicas.

##### 3.2.6.5.1 Cerveza.

El envase tradicional para este producto, fueron barriles originalmente. Posteriormente, fué la botella de vidrio, cuando su distribución fué mayor y se requirió pasteurizar la cerveza para destruir las levaduras y otros microorganismos presentes en el producto. En la actualidad es embotellada en envases de vidrio que resisten las temperaturas de pasteurización así como la presión interna debida al gas que contiene.

##### 3.2.6.5.2 Vino.

Así como la cerveza, el vino se envasaba originalmente en barriles. Cuando la elaboración de la botella de vidrio se hizo barata y se introdujo el tapón de corcho, esta se volvió el envase tradicional para este producto. La botella de vidrio no solo fué un envase conveniente, sino que los avances en su manufactura, permitió el desarrollo de los vinos espumosos.

El vino difícilmente es envasado en recipientes de metal, porque

evitan el añejamiento y deterioran el color, sabor y aroma del producto. En el caso de los vinos tintos, es necesario protegerlos de la luz para evitar alteraciones en el color. También debe ser limitada la cantidad de oxígeno que tenga acceso al producto, para no alterar el sabor del mismo.

### 3.2.6.5.3 Bebidas Destiladas.

Incluyen al brandy, cognac, whisky, ginebra, vodka, tequila, licores de frutas, etc. En todos los casos, el destilado que sale del alambique es claro. El color proviene del añejamiento en barriles o de la adición de caramelo.

Así como en el vino, las bebidas destiladas son almacenadas en barricas, en las que adquiere su color, olor y sabor característicos. Posteriormente son envasados en botellas de vidrio. La mayoría de las botellas empleadas para estos productos, son claras o verde opalescente, debido a que la protección contra la luz es importante en bebidas que toman su color de las barricas. A consecuencia de estudios prácticos, se determinó que el vidrio verde es la mejor protección para estas bebidas.

### 3.2.7 Alimentos Preparados.

Los hornos de microondas son de uso común en la sociedad moderna. La ventaja que estos aparatos ofrecen al consumidor, es la disponibilidad de alimentos que pueden tomarse del congelador y servirse en la mesa en pocos minutos. Esto ha sido posible gracias a la combinación de tecnologías de unvasado así como técnicas para preparar alimentos.

Las microondas se transmiten a través del vidrio, materiales cerámicos, plásticos y papel. Los metales como el aluminio y el acero, las reflejan. Las microondas penetran los alimentos por todos lados, por lo que la forma ideal del envase a utilizar, es la esfera y en segundo lugar el cilindro (13).

Los tarros de vidrio se emplean en los alimentos que se calientan por este método, con tapas plásticas que se abren con el calentamiento y sellan al enfriarse (10). También se ha desarrollado el microglas: tarro de vidrio cubierto por un armazón de cartón. Para calentar, se quita la tapa metálica del tarro y se cierra con la tapa de cartón del armazón para evitar salpicaduras (10).

### 3.2.8 Alimentos infantiles.

Las latas de acero tuvieron mucho éxito en el envasado de alimentos, a partir de la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo presentan el problema de la corrosión interna, en alimentos ácidos que contengan sal y que requieran tratamientos térmicos, llegando incluso a perforarse a través de las tapas de aluminio, durante la exposición a altas temperaturas, por lo que se prefieren latas libres de aluminio para el enlatado de alimentos.

A partir de los 70's, la FDA se ha preocupado por el incremento de plomo y otros metales pesados en los alimentos envasados en latas. Los fabricantes de alimentos infantiles y leches evaporadas para bebés, fueron los primeros en reducir el contenido de plomo en sus productos enlatados, por ser este el sector de la población más sensible a este tipo de contaminación.

Mayor cuidado en el soldado y mejor ventilación, redujeron enormemente el problema pero no lo eliminó por lo que se han buscado nuevas opciones que no contengan plomo o soldadura. Sin embargo, en el área de alimentos para bebés, dado el peligro que representa el plomo para el desarrollo neurológico de los infantes, se adoptó utilizar envases de vidrio borosilicato, químicamente inerte y libre de metales pesados (83).

#### **4.- RECICLAJE DEL VIDRIO.**

El vidrio ha sido utilizado para la elaboración de envases, desde tiempos muy remotos. A medida que la tecnología para su elaboración ha avanzado, el uso del vidrio se ha vuelto cotidiano.

En la industria de alimentos así como en la farmacéutica, el vidrio ha ocupado un lugar preponderante para el envasado de sus productos debido a las siguientes cualidades:

1.- Confieren al producto una apariencia llamativa y agradable. Aunque en general se prefiere la utilización de vidrio claro para envases, cada vez tiene mayor aceptación el uso de vidrios coloreados y de diseño original, que impriman un toque único al producto que contienen. En el caso de las bebidas de moderación, el vidrio es el material de envase por excelencia dado que confiere una presentación elegante a los vinos, lo que no se logra con envases plásticos.

2.- Los envases de vidrio son higiénicos (8). La higiene se debe a que no permite la migración de elementos dañinos del envase o el exterior, hacia el producto. Son envases que resisten la acción de líquidos y gases, capaces de resistir las exigencias mecánicas y químicas de los procesos de llenado a presión, pasteurizado o esterilizado, debido a la modificación de las características del vidrio durante su fabricación.

3.- Los envases de vidrio no alteran la composición de los productos contenidos en ellos. Se consideran envases inertes. El vidrio no libera elementos ácidos o alcalinos que alteren el pH del producto contenido en él (8).

4.- Los envases de vidrio son reciclables. Los envases de vidrio son susceptibles de ser fundidos nuevamente para ser utilizados en nuevos envases u otro tipo de aplicaciones (14).

En la industria de alimentos y, particularmente en el caso de las bebidas, se conocen dos tipos de envases:



**Envases Retornables.** El envase, una vez utilizado, es remitido a la planta embotelladora para ser lavado y llenado nuevamente; este envase se utiliza hasta que se rompe por desgaste.

**Envases no Retornables.** El envase se utiliza sólo una vez y se tira. No es necesario mandarlo a la planta embotelladora; se remite al fabricante, que lo utilizará como materia prima para nuevos envases. Se añade a la formulación como fuente de silicatos, sustituyendo una parte de la arena sílica y de carbonato de sodio, producto de elevado precio.

El reciclaje de vidrio presenta ventajas como:

- 1.- Protección al medio ambiente al disminuir las emisiones de óxido nítrico, óxidos de azufre y otras partículas contaminantes.
- 2.- Ahorro en la materia prima. Sustituye carbonato de sodio, carbonato de calcio, dolomita y sílice. Una tonelada de vidrio reciclado, sustituye 1.2 toneladas de materia prima.
- 3.- Disminución de los costos por extracción, transportación y procesado de la materia prima proveniente de minas.
- 4.- Ahorro para los gobiernos al ser más barato recolectarlo, que destruirlo. Es posible su recolección y venta a las plantas de tratamiento o fábricas de envases, constituyendo un ingreso en lugar de un gasto.
- 5.- Ahorro en el lavado de envases. Se eliminan del vidrio molido los metales y otros materiales potencialmente dañinos antes de la fundición. Los restantes contaminantes son incinerados durante el proceso de fundido.
- 6.- Ahorro de espacio en supermercados y hoteles para el almacenaje de envases retornables; son enviados a centros de tratamiento o tiraderos de donde serán recolectados.

7.- Ahorro del fabricante de envases en combustible, disminuye el uso de agua en 50% y aumenta la vida útil de los hornos:

#### 4.1 RECICLAJE PRIMARIO.

Comprende los procesos de recolección, clasificación, limpieza y triturado del vidrio desechado, preparándolo para fundirlo de nuevo.

Los fabricantes de vidrio denominan "pedacería" al vidrio reciclable y lo clasifican en dos grupos:

**Pedacería Propia.** Es el vidrio obtenido por los rechazos en su propia fábrica, al no cumplir los requerimientos físicos del control de calidad. Este vidrio tiene, por lo mismo, la misma composición que el vidrio que fabrican y por lo mismo, es utilizado frecuentemente hasta en un 75% del total de la formulación. También son considerados pedacería propia, los envases elaborados por la fábrica y que son remitidos por los distribuidores debido a roturas o por campañas de recolección. En este caso, la pedacería remitida es lavada primeramente para poder utilizarse en la formulación.

**Pedacería Foránea.** Es el vidrio elaborado por otras fábricas y que es recolectado de entre los materiales de desecho en los tiraderos. Este vidrio debe ser limpiado cuidadosamente y, debido a que su composición química puede ser diferente que la pedacería propia, es necesario realizar estudios de composición para poder calcular el porcentaje en que puede añadirse a la formulación.

La pedacería foránea puede contener toda clase de contaminantes de tipo orgánico (papel, cartón, plástico, etc.), metales magnéticos (hierro especialmente), metales no magnéticos (aluminio, plomo, estaño, cinc, etc.) y materiales inorgánicos como cerámica, barro, porcelana, grava, escoria, piedras, etc.

Todo este material extraño contamina la formulación y da lugar a defectos en el vidrio obtenido.

El material orgánico es relativamente inofensivo mientras no lo haya en exceso (0.2% máximo). Este material se incinera completamente en el horno pero, cuando existe en exceso, constituye un estorbo local en el equilibrio de óxido-reducción de la fundición, dando lugar a la formación de burbujas y cuerdas de color.

Dentro de los metales magnéticos, el hierro y sus aleaciones son indeseables puesto que causan la formación de burbujas en el vidrio, pero el peligro principal del hierro consiste en la formación de fusiones de silicatos de hierro que pueden provocar la destrucción de los refractarios del fondo del horno e inclusive su perforación. El hierro y los metales magnéticos son eliminados mediante el uso de potentes imanes.

Los metales pesados no magnéticos, presentes en la pedacería, provienen de las aleaciones de estaño y plomo que se usan en algunos tapones y etiquetas de envases. Son más difíciles de eliminar que los metales magnéticos y en la fundición, se precipitan al fondo del horno actuando como un taladro sobre las juntas de los refractarios del fondo.

Existen metales ligeros no magnéticos como el aluminio, que se quedan en el vidrio fundido. Es importante eliminar el aluminio porque, bajo las condiciones de fundición, es capaz de reducir la sílice a silicio elemental formando así inclusiones del mismo en el vidrio, mermando su solidez y resistencia al choque térmico. Dichas inclusiones se observan en el vidrio como esferas oscuras en el vidrio, con un coeficiente de expansión menor; al enfriarse el vidrio, éste se contrae más que las inclusiones dando lugar a tensiones en el área de contacto y conduce a roturas con forma de estrella.

Existen también pedazos de cerámica y grava que, si son muy grandes, no logran disolverse durante el proceso de fundición. En este caso, es necesario cuidar que el tamaño de las partículas no sean de diámetro mayor a 12 mm.

Las fábricas en general, prefieren el uso de pedacería propia por facilidad de manejo pero, en caso de tener que disponer de pedacería foránea, se han establecido límites que no deben sobrepasarse, sobre la cantidad admisible de impurezas en la pedacería foránea (tabla 6).

El tratamiento que se da a la pedacería, con la finalidad de limpiarla de materia indeseable en la fundición, es el siguiente:

Al recibir la pedacería en la planta para su tratamiento, se inspecciona, pesa y almacena en silos clasificándose por colores (ambar, verde o transparente). La inspección visual tiene como finalidad la detección de etiquetas, bolsas y botellas de plástico, latas y otros objetos de aluminio.

De los silos, la pedacería es transportada mediante bandas vibratorias hasta un separador magnético que elimina materiales ferrosos como hojalata, tapas metálicas, etc. Posteriormente se separan a mano botellas que no sean de vidrio. A continuación se muele la pedacería y se hace pasar por mallas al mismo tiempo que una corriente de aire separa el material ligero. Esto aumenta la eficiencia de la segunda separación manual que remueve materia como papel, aluminio, tapas metálicas, corchos y plástico. Antes de la segunda selección, el material molido se hace pasar por un separador magnético para eliminar tapas ferrosas liberadas por la molienda. La segunda selección manual es necesaria también para remover piedras y material refractario. Al final se encuentra un detector de metales para asegurar la separación de material metálico.

A pesar de los procesos anteriores de separación, todavía puede encontrarse en la pedacería, restos de materia no vítrea formada por cerámica rota, piezas de baño, ladrillos, azulejos y otros productos

horneados como zirconio proveniente de barnices, restos de focos, abrasivos y otros materiales de construcción.

Se han diseñado dos métodos para separar el material vítreo de no vítreo:

1.- Flotación. Se separa el vidrio del material no vítreo mediante una suspensión acuosa a la que se añade una amina grasa conocida como agente colector. Mediante la acción del agente colector, el vidrio adquiere carácter hidrofóbico y mediante el burbujeo de aire en la suspensión, el vidrio flota y se desborda del recipiente junto con la espuma formada por el burbujeo. El material no vítreo, en cambio, se mantiene en el seno de la suspensión que es decantada posteriormente. En este proceso, el agente colector es catiónico y generalmente se utiliza el acetato de una amina alifática obtenida de los ácidos grasos de sebo o aceite de coco.

2.- Clasificación electro-óptica. En este método se separan las partículas de vidrio y cerámica, mediante la comparación de sus propiedades ópticas. La mezcla se hace pasar, mediante un alimentador, a un predeterminado número de partículas por unidad de tiempo; caen como una cascada y un detector va clasificando en base a la cantidad de luz transmitida a través de las partículas. La caja óptica es oscura con una fuente de luz brillante a un lado, que hace brillar las partículas transparentes para dar una señal a un receptor. Las partículas opacas no permiten el paso de luz al detector, lo que provoca una señal que dispara una descarga controlada de aire comprimido para desviar la partícula opaca a un recipiente colector. Las partículas transparentes caen libremente hasta otro recipiente y de ahí pueden ser mandadas a otro clasificador que las separa por color. De esta manera se puede no sólo separar vidrio de cerámica, sino que también puede clasificarse la pedacoria por colores.

#### 4.2 RECICLAJE SECUNDARIO.

El vidrio reciclado se utiliza en la fabricación de envases de vidrio, como una fuente de silicatos que permite disminuir el uso de carbonato de calcio, materia prima de alto precio, para la fundición de vidrio nuevo. Además de esta, tiene otras aplicaciones como:

- Formación de microesferas de vidrio (ballotini) que se usan como material reflejante en señales de tráfico, así como relleno para materiales plásticos.
- Como abrasivo para ciertas lijas así como también forma parte del material para encender fósforos por fricción.
- Como lubricante para moldes, cuando está fundido, en la industria del acero.
- Glasphalt: una mezcla de vidrio y asfalto muy adecuada para pavimentar en climas fríos, por no dilatarse o contraerse excesivamente.
- En la elaboración de ladrillos y tabiques de vidrio mezclado con cemento o arcilla.
- Como matriz para la adhesión de otros compuestos químicos para procesos de intercambio iónico o fijación de enzimas.
- Como agente de pigmentación; las partículas de vidrio pueden teñirse o molerse junto con un colorante, dando una mayor intensidad y difícilmente decolorable.
- Estabilizante de temperatura en la manufactura de moldes que se obtengan por reacciones altamente exotérmicas. Dichos moldes pueden obtenerse coloreados si el vidrio utilizado es previamente pigmentado.

- Recubrimientos flexibles para pisos. Se logra por medio de resinas a las que se adiciona vidrio.
- Como acondicionador de suelos para agricultura al formar canales que permitan el paso de oxígeno y humedad a la raíz de las plantas.

**5.- EL VIDRIO EN COMPARACION CON  
OTROS MATERIALES RECICLABLES.**



Una de las razones por las que es necesario el reciclaje, es el ahorro en materia prima nueva, como es el caso del vidrio, aluminio y papel. Otra razón es de tipo energético pues el reciclaje de materiales permite el ahorro en la energía necesaria para obtener un producto nuevo. Dicha energía normalmente es suministrada por la combustión de gas, petróleo u otros combustibles.

Existen también razones de tipo ambiental, que plantean la necesidad de reciclar la mayor cantidad de material de desecho que sea posible. En la actualidad, la mayoría de los desechos sólidos son eliminados por cuatro métodos principales:

1.- Tiraderos a Cielo Abierto.

Este método constituye una acumulación incontrolada de basura y no soluciona realmente el problema.

2.- Relleno Sanitario de Tierra.

Es una acumulación más ordenada en la que se emplean depresiones naturales, como depósitos para los desechos. Dichos espacios son previamente impermeabilizados para evitar filtraciones de desechos a los mantos acuíferos. Se rellenan por capas de 2m cada vez y se compactan. Aunque es una mejor solución que la anterior, existen productos como el vidrio o plástico que no son degradados en forma natural.

Estos dos métodos dependen de la disponibilidad de espacios adecuados para este fin. Dichos lugares son cada vez más escasos, lo que eleva el costo de estos procedimientos.

3.- Incineración.

Consiste en la combustión completa de los desechos. Así se reduce notablemente el volumen de desechos que hay que eliminar. Sin embargo, depende de combustibles cuyo costo puede aumentar notablemente y arroja a la atmósfera gases que pueden ser muy dañinos al equipo o al medio ambiente.

#### 4.- Reciclaje.

Esta parece ser la mejor opción pues busca reutilizar el material usado, en nuevos productos, disminuyendo la cantidad de desechos a destruir por otros métodos.

Se calcula que de los desechos que se generan, aproximadamente un 20% constituye material que puede ser reciclado. Un punto esencial del reciclaje, es que los productos deben ser recuperados en forma y con características aceptables para el consumidor.

La tabla 8 nos muestra los códigos y clasificación de los materiales reciclables más comunes.

#### 5.1 PLASTICOS.

Con este nombre se agrupa una familia de polimeros de extraordinaria variedad y complejidad. Sus propiedades químicas dependen de muchos factores como son grupos funcionales. Gases con grupos funcionales semejantes a los del polimero, tienden a difundir a través del mismo con mayor facilidad que gases con grupos funcionales distintos a los del polimero.

Las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales dependen del tamaño del tamaño del polimero (peso molecular y distribución del mismo), la presencia de grupos funcionales así como pueden ser influenciadas también por el proceso utilizado en su elaboración, al orientar de los polimeros para incrementar la resistencia a ciertos esfuerzos, claridad, dureza, resistencia o propiedades protectoras.

##### 5.1.1 Polietilen Tereftalato (PET).

Pertenece al grupo de los poliésteres, siendo el más conocido de este grupo. Su costo de producción es más elevado que el polietileno y polipropileno. Posee mayor fuerza, mejores propiedades térmicas, es claro y de mayor dureza que los plásticos anteriormente mencionados.

Presenta poca permeabilidad al dióxido de carbono y es muy duro, por lo que se emplea en botellas para refrescos y aceites comestibles. Una variante a este material es la obtención de un PET cristalizado (CPET), de mayor resistencia térmica, que puede utilizarse en charolas para alimentos hornearables.

#### 5.1.2 Polietileno (PE).

Es el más simple de los polímeros en cuanto a composición química y el más utilizado en el envasado de alimentos. Es muy barato, excelente barrera contra la humedad, termosoluble, fácil de procesar. Se emplea como películas, artículos moldeados por soplado o laminados.

Se puede subdividir en Polietileno de Alta Densidad (HDPE) o Polietileno de Baja Densidad (LDPE). En general, la resistencia a la tensión, dureza, resistencia al calor y protección contra gases, aumentan conforme la densidad disminuye.

LDPE es muy resistente al impacto, pero de poca resistencia al calor. Se emplea como película para bolsas de supermercado, películas que encogen así como envolturas con la misma característica.

HDPE es más rígido, duro, menos transparente, más resistente a aceites y grasas, así como a la transmisión de gas y vapor. Se emplea en botellas, recipientes y películas (17).

La mayor desventaja que presentan, es su alta transmisión de vapor y gases.

#### 5.1.3 Cloruro de Polivinilo (PVC).

Es transparente, duro, tieso y con excelente resistencia a la humedad así como baja permeabilidad a los gases. Resistente a los químicos y al calor, se emplea para empacar carne fresca y otros alimentos.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 8.  
CODIGOS DE RECICLAJE DE LOS MATERIALES DE EMPAQUE MAS COMUNES.

CODIGO	SIGLAS	NOMBRE
1	PET	POLIETILEN TEREFTALATO
2	HDPE	POLIETILENO ALTA DENSIDAD
3	PVC V	CLORURO DE POLIVINILO VINIL
4	LDPE	POLIETILENO BAJA DENSIDAD
5	PP	POLIPROPILENO
6	PS	POLIESTIRENO
7	O	OTROS CARTON VIDRIO ALUMINIO

#### 5.1.4 Polipropileno (PP).

Es el más ligero de todos los plásticos. Es más duro y transparente que el polietileno, mejor barrera contra gases y presenta mayor resistencia al calor. Puede obtenerse como cadenas orientadas o no. Es más caro y de menor resistencia al impacto que el polietileno, especialmente a bajas temperaturas y es más difícil de termosellar. Se emplea en películas, envases inyectados o soplados así como en tapas.

#### 5.1.5 Poliestireno (PS).

Es fácil de procesar, puede laminarse, termoformarse, extruirse o inyectarse. No es resistente al calor y tiene poca resistencia al impacto. Se emplea en charolas para carne, cartones para huevo, vasos y recipientes.

La densidad y resistencia a la opresión, dependen del tamaño de la celda y su distribución. Este material no es reciclable.

#### 5.1.6 Cloruro de Polivinilideno (PVDC).

Se lo conoce también como SARAN. Presenta buenas propiedades como barrera, incluso a alta temperatura y humedad. Se emplea como empaque para quesos o alimentos que se esterilicen.

Su costo es muy elevado y es difícil de emplear como desecho. Algunos son sensibles a la temperatura, volviendolos difíciles de procesar y reciclar.

#### 5.1.7 Copolímero de Etilen Vinil Alcohol (EVOH).

Es una excelente barrera contra oxígeno. A mayor contenido de EVOH, menor permeabilidad al oxígeno, pero menor resistencia a la humedad. Es muy caro y al absorber humedad, permite el paso del oxígeno. Se emplea como barrera interna en estructuras obtenidas por extrusión.

Hasta el momento, el reciclaje de plásticos más exitoso es el de envases de PET y el Polietileno Tereftalato reciclado (RPET) puede utilizarse en envases de plástico delgado para alimentos, medicamentos y envases especiales (18). También las resinas recicladas se convierten en otros productos como fibras de relleno, plásticos de ingeniería, botellas para productos no alimenticios, tapetes, etc.

## 5.2 PAPEL Y CARTON.

Se obtienen de fibras de celulosas, hemicelulosa y residuos poliméricos. Son baratos, abundantes, renovables y pueden ser reciclados fácilmente para obtener nuevas fibras o quemado como combustible (8).

Aproximadamente la mitad de los empaques empleados en la industria son elaborados con papel o cartón. Se emplean como papel corrugado, bolsas, envolturas o envases laminados. Se ha llegado a utilizar papel con 50% de material reciclado, proveniente 10% de desechos y 40% de material reciclado en la fábrica (15).

El papel y el cartón no ofrecen resistencia al intercambio de gases y vapores, así como tienen pobre resistencia cuando se mojan. Estas características pueden mejorarse impregnando dichos materiales con ceras, lacas o plásticos, así como por medio de metalizados.

## 5.3 ALUMINIO.

Las latas de cerveza y el 85% de las latas de refresco, son fabricadas con este material. Tienen como ventaja, un peso ligero, elevada resistencia a la corrosión atmosférica y la facilidad de reciclaje. Presenta como desventajas, elevado costo y poca resistencia mecánica. Dicha debilidad sólo se ve compensada por la presión generada por las bebidas carbonatadas que pueden contener, lo que limita su campo de aplicación.

La industria del aluminio ha establecido un sistema para recolectar y

reprocesar sus latas. Es posible ahorrar hasta un 95% de energía al fundir y reprocesar aluminio reciclado, en lugar de obtenerlo de fuentes minerales como la bauxita.

Se ha observado que un 50% de las latas de aluminio, fabricadas en USA son recicladas. Dicho aluminio puede emplearse para fabricar nuevas latas o tapas para envases de cartón (15).

Las hojas de aluminio se emplean ampliamente para proteger los alimentos. Comercialmente, tienen un grosor de 0.0003 a 0.0015 de pulgada. Grososores mayores a 0.0007 de pulgada, son considerados impermeables a humedad y gases.

#### 5.3.1 Capas Metalizadas.

Se obtienen aplicando una capa delgada de aluminio en un sustrato como poliester o papel. Ofrecen resistencia a la pérdida de humedad, oxígeno, luz y a la adquisición de sabores u olores. Se emplean en la elaboración de bolsas para alimentos.

En realidad, existe la tecnología para reciclar envases de plástico pero se encuentra aún en desarrollo la infraestructura para su recolección (19).

Los plásticos no pueden reciclarse indefinidamente sin que pierdan algo de sus propiedades. También se ha observado que la mayoría de los envases fabricados con material reciclado, cuestan más que los elaborados con materia virgen (19). En este aspecto, el vidrio tiene amplio margen, pues siempre se ha reciclado fundiéndolo junto con la materia prima virgen, a un costo muy bajo por no requerir instalaciones diferentes de las utilizadas para la fabricación del vidrio.

Si se toma como base el costo de impacto ambiental, es decir, la cantidad que debe invertirse para que puedan ser desechados o reutilizados, los plásticos obtienen una menor puntuación al

ser comparados con el vidrio o aluminio reciclado (tabla 9), debido a su baja reciclabilidad y alto costo de producción.

Por el momento, la mejor opción como envase de bajo impacto ambiental, sigue siendo el vidrio; sin embargo, los plásticos son mejorados constantemente, atendiendo las necesidades de los consumidores, que demandan materiales funcionales, más fuertes, menos agresivos al medio ambiente y a buen precio (17). Todo parece indicar que sólo es cuestión de tiempo (años, no décadas), para que surja una gama de materiales plásticos reciclados que compitan con el vidrio para el envasado de alimentos (21).



TABLA 9

COSTOS DE RECICLAJE DEL VIDRIO Y OTROS MATERIALES.

MATERIAL	COSTO POR TONELADA
PVC	\$ 5,288 US DLLS.
ALUMINIO	\$ 1,963 US DLLS.
PET	\$ 1,108 US DLLS.
OTROS PLASTICOS	\$ 537 - 620 US DLLS.
PAPEL ACERO ALUMINIO RECICLADO	\$ 247 - 443 US DLLS.
VIDRIO	\$ 157 US DLLS.
VIDRIO RECICLADO	\$ 127 US DLLS.

(20).

## 6.- CONCLUSIONES.

- Los vidrios constituyen una familia de materiales de muy diversas cualidades y cuyas aplicaciones prácticamente abarcan todas las áreas de la tecnología moderna. Sus características pueden ser tan opuestas como materiales para aislamiento eléctrico o superconductores; sus aplicaciones e importancia aumentan a medida que se conocen nuevos métodos para obtener vidrios de mayor pureza o características muy específicas.

- El vidrio soda-cal, se elabora con arena, cuarzo, dolomitas, calizas, etc. Estos materiales son abundantes en la naturaleza e incluso pueden ser reutilizados con facilidad, por lo que el costo de elaboración es muy bajo en comparación con otros materiales para envase.

- El vidrio presenta ventajas y desventajas; como ventajas es posible enumerar su facilidad de moldear a formas caprichosas, bajo costo de producción, inercia química, protección física contra microorganismos o a la difusión de gases o vapores. También debe mencionarse la protección que ofrece contra espectros luminosos, como el ultravioleta, que pueden afectar al producto que contienen. Como desventajas pueden nombrarse su elevado peso, comparado con otros materiales, su fragilidad y la necesidad de producirse enormes lotes de envases de un solo color para mantener bajos los costos de producción.

- Los avances tecnológicos han permitido corregir los defectos anteriormente mencionados, mediante tratamientos de la superficie externa del envase, con sales de estaño o titanio, que confieren mayor resistencia a las paredes del envase, al mismo tiempo que la aplicación de resinas coloreadas permite obtener envases de diferentes colores, a partir de lotes de envases de vidrio blanco, en las tonalidades y cantidades deseadas.

- El reciclaje de vidrio permite disminuir costos al ahorrar en arena y carbonato de sodio, este último de elevado costo por ser sintético, al introducir silicatos ya formados en la mezcla vitrificable. En

consecuencia se ahorra también la energía necesaria para obtener nuevos silicatos a partir de materia prima virgen, y se alarga la vida útil de los hornos.

- Además de reciclarse el vidrio para la elaboración de nuevos envases, se pueden elaborar una gran variedad de materiales nuevos y constantemente se desarrollan nuevas aplicaciones para este material.

- Existen otros materiales, plásticos principalmente, capaces de sustituir al vidrio en la elaboración de envases para contener alimentos. Son más ligeros y resistentes pero, hasta el momento, no existe un material sintético que pueda tener todas las ventajas que presenta el vidrio. Sus propiedades individuales pueden superar en parte al vidrio pero sus costos de reciclaje siguen siendo muy elevados. Los avances tecnológicos continúan en este campo y es cuestión de tiempo para que el vidrio sea superado en ciertas áreas de aplicación, salvo bebidas alcohólicas, en que este tipo de envase es tradicional, y en los alimentos infantiles, en los que se requieren alimentos de muy alta resistencia y pureza.

7.- BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Mari, Eduardo Ambrosio. Los Vidrios: Propiedades, Tecnologías de Fabricación y Aplicaciones. Ed. Americalee. Buenos Aires, 1982.
- 2.- Cotton, Albert; Wilkinson, Geoffrey. Química Inorgánica Básica. Ed. Limusa. México, 1984.
- 3.- Huheey, James E. Química Inorgánica. Principios de Estructura y Reactividad. Ed. Harla. México 1981.
- 4.- Piccinini, Octavio. Materias Primas en la Industria del Envase: El Vidrio para la Fabricación de Envases. Instituto Argentino del Envase. Buenos Aires, 1973.
- 5.- Autores Varios. "Environment". Food and Drug Packaging. Vol. 56.No.12.Dic 1992.
- 6.- Knappe, Jimmy. New Developments in Glass Packaging: a Literature Review. Editado por PIRA. Gran Bretaña, 1989.
- 7.- Trier, W. Lauter; Schumacher, L. El Uso de Pedaceteria Foráneos en la Fabricación del Vidrio. Informe del Comité Técnico No.11 de la Sociedad de Tecnología de Vidrio de Alemania. No. 71, Mayo 1978.
- 8.- Hul, Y.P. et al. Encyclopedia of Food Science and Technology. Ed. John Wiley & Sons. U.S.A. 1992.
- 9.- Bell, Leonard and Labuza Theodoro. "Compositional Influence on the pH of Reduced-Moisture Solutions". Journal of Food Science. Vol. 57. No. 3, 1992.
- 10.- Paine, Frank A. Modern Processing, Packaging and Distribution Systems for Food. Ed. Blackie. Glaswood, 1987.
- 11.- Sin Autor. "Problemas de Toxicología y Aspectos Organolépticos". Instituto de Envase y Embalaje de Perú. No. 4. Dic - Ene. 1971-72.

- 12.- Sacharow, Stanley; Griffin, Roger C. Principles of Food Packaging. Ed. AVI Publishing Co. U.S.A. 1980.
- 13.- Gieso, James. "Advances in Microwave Food Processing". Food Technology. Vol.46. No. 9. Sept. 1992.
- 14.- Centro del Envase de Vidrio. "El Reciclado de Vidrio". Vidrio Latinoamericano. Marzo - Mayo 1983.
- 15.- Autores Varios. "Enviroment". Food and Drug Packaging. Vol 56. No.1. Enero 1992.
- 16.- Autores Varios. "Enviroment". Food and Drug Packaging. Vol. 56.No. 11.Noviembre 1992.
- 17.- Joseph, Linda. "The Reign of Resins. Customization Balances Price and Peformance". Food and Drug Packaging. Vol.56.No.11.Noviembre 1992.
- 18.- Autores Varios. "Enviroment". Food and Drug Packaging. Vol.56. No.5. Mayo 1992.
- 19.- Forcino, Hallie. "How Much do You Know About the Enviroment". Food and Drug Packaging". Vol.56. No.10. Octubre 1992.
- 20.- Densford, Lynn. "New Studies Show Plastic Containers to Be Enviromentally-Friendly". Food and Drug Packaging. Vol.56. No.11. Noviembre 1992.
- 21.- Miyares, Ben. "Door Opens for PCR-Plastic Food Packaging". Food and Drug Packaging. Vol.56. No.9. Septiembre 1992.
- 22.- Mc Mahon, J.F. Mc Graw Hill Encyclopedis of Science and Technology. Ed. Mc Graw Hill. U.S.A. 1992.

- 23.- Morey, George W. The Properties of Glass. Ed. Reinhold. N.Y. 1938.
- 24.- Rawson, Harold. Properties and Applications of Glass. Ed. Elsevier. Amsterdam, 1980.
- 25.- Goçk, H. "Las Materias Primas Para Vidrio y la Preparación de la Mezcla Vitrificable." Journal of Non-Crystalline Solids. Vol.26. No.1-3. 1977.
- 26.- Dalmijn, W. "Glass Recycling Possibilities and Limitations". Glass International. Junio 1986.
- 27.- Stirling, H. "Electro-Optical Sorting. Recovering Flint, Green and Amber Glass From Domestic and Industrial Refuse." Glass. Abril 1977.
- 28.- Heginbotham, J.H. Recovering Glass From Urban Refuse by Froth Flotation. Reporte de Investigaciones 8327. Departamento del Interior E.U. Oficina de Minas E.U. 1978.
- 29.- Shelley, S.V. "Cullet Utilisation Technology: The New Horizon in Glass Recycling". Rivista della Staz. Sper. Vetro. No.5 Septiembre- Octubre 1979.
- 30.- Companhia Vidraria Santa Maria. "Qualidade da Succata Bruta de Vidrio". Trabajo Presentado por la Compañia Vidrera Santa Maria para el Tercer Simposio Latinoamericano de Fabricación de Vidrio. Sao Paulo, 1985.
- 31.- Roberts, Thomas J. "Recycling is a Key Weapon in the Bottle Bill Battle". Glass Industry. Septiembre 1984.
- 32.- Cook, R.F. "Glass Recycling - Economics". United Glass Containers. Gran Bretaña, 1984.



- 33.- Duckett, Joseph E. "Cullet From Municipal Waste". Ceramic Industry Vol.112. No.3 y 5. 1979.
- 34.- Heiss R. Principios de Envasado de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España, 1970.
- 35.- Hidalgo, Francisco J; Zamora, Rosario. "Non-Enzymatic Browning and Fluorescence Development in a (E)-4,5,-Epoxy-(E)-2-Heptenal/Lysine Model System." Journal of Food Science. Vol.58. No.3. 1993.
- 36.- Fernandes, L.I.; Mc Lellan,M.R. "Hydroxymethylfurfural Accumulation in Applesauce Packaged in Multilayer Polymer and Glass." Journal of Food Science. Vol.57. No.2. 1992.
- 37.- Doyle, Mona. "Consumer Perception of Plastic Changes." Food and Drug Packaging. Vol.56. No.11. Noviembre 1992.
- 38.- Densford, Lynn. "FDA works on Recycling Regs." Food and Drug Packaging. Vol.56. No.5. Mayo 1992.
- 39.- Miyares, Ben. "Consumers Look For Economical Packages". Food and Drug Packaging. Vol.56. No.2. Febrero 1992.
- 40.- Doyle, Mona. "Flexible V.S. Rigid: Consumers Like Rigid." Food and Drug Packaging. Vol.56. No.2. Febrero 1992.
- 41.- Kelsey, Robert J. "Today's Hot Trend. Easy Open/Reclose Pouches and Bags". Food and Drug Packaging. Vol.56. No.2. Febrero 1992.
- 42.- Densford, Lynn. "FTC Issues Guidelines for Environmental Claims". Food and Drug Packaging. Vol.56. No.9. Septiembre 1992.
- 43.- Kelsey, Robert J. "Packaging Primer. Thermoform Fill Seal And Seal Packaging." Food and Drug Packaging. Vol.56. No.6. Junio 1992.

- 44.- Goerk, H.; Waldecker, G.G.; Scholze, H. "Influence of Cullet Additions on the Homogeneity and Refining of Glass Melts." Glasstechn.Born, Vol.54. No.5. 1981.
- 45.- Loredo, L.R.; Martinez, A.; Becerril,B. "Cullet as a Substitute For Soda." Journal of Non Crystalline Solids. Vol.84. No.1-3. 1986.
- 46.- Weiser, Steve; LeBlanc, John; Kilpatrick, Bill; DeNapoli, Frank. "How Aluminum Metal Contamination Affects Container Production." Glass Industry. Junio 1986.
- 47.- Stewart, Gordon M. "How Foreign Cullet Usage Affects Container Production". Glass Industry. Diciembre 1985.
- 48.- Stewart, Michael W; Shiple, Thomas J; Cumings, John P. "Waste Glass Beneficiation by Dense Media Separation". Glass Industry. Junio 1985.
- 49.- Hilson, Michael J. "Observations On The Use Of Foreign Cullet". Ceramic Engineering and Science Proceedings. Vol.6. No.3-5. 1985.
- 50.- Unibin LTD. "Handling Hot and Cold In-House Cullet". Glass. Vol.56. No.5. Mayo 1979.
- 51.- Zippe, Bernd-Holger; Moser Horst. "State-Of-The-Art Of Hot Cullet Recycling In Europe." Ceramics Engineering Proceedings. Vol.8. No.3-4. 1987.
- 52.- Parker, Stephen B. Dutaud, T.G. "A Hot-End Cullet Collection and Quench-Clarifying System". Ceramics Engineering Proceedings. Vol.8. No.3-4. 1987.
- 53.- Bernhiesel, J.F. "An Introduction to Materials and Markets". Waste Age. Vol.19. No.4. 1988.
- 54.- Cannon, H.S; Smith, M.L. "Recycling of Glass and Metals:

Container Materials". Recycling and Disposal of Solid Wastes. Ed. Ann Arbor Science Publishing. U.S.A. 1975.

55.- Palumbo, F.J; Stanczyk; Sullivan P.M. "Electronic Color Sorting of Glass from Urban Waste". Reporte de Avance Técnico No.45. Departamento del Interior. U.S.A. 1971.

56.- Glass Packaging Institute. Glass Recycling: Why? How?. Washington D.C. 1986.

57.- Chesner, W.H; Potrarca R.W. "The Ecosphere Recycling System V.S. Traditional Recycling Center and the Use of Glass as a Construction Aggregate Material". Procedimientos de la Conferencia de Manejo de Desechos y Materiales. N.Y. 1988.

58.- Walsh, P; O'Leary, P. "Recycling Offers Benefits, Opportunities... and Challenges". Waste Age. Vol.19. No.1. 1988.

59.- Hanlon, J.F. Handbook of Package Engineering. Ed. Mc Graw Hill. N.Y. 1984.

60.- Cook, R.F. "The Collection and Recycling of Waste Glass (Cullet) in Glass Container Manufacture". Conservation and Recycling. Vol.2. No.1. 1978.

61.- Lylo, A.K. "Design and Development of Glasses for Manufacture of Containers: A Laboratory Procedure". Glass Industry. Vol. 48. 1967.

62.- Weyl, W.A. "The Rheology of Inorganic Glasses": de Rheology: Theory and applications. Ed. Academic Press. N.Y. 1960.

63.- Frankel, E.N. "Chemistry of Autoxidation: Mechanism, Products and Flavor Significance" del libro Flavor Chemistry of Fats and Oils. Ed. American Oil Chemists' Society. 1985.

64.- Holman, R.T. and Elmer, O.C. "The Rates of Oxidation of Unsaturated Fatty Acids and Esters." Journal of the American Oil Chemists' Society. Vol.24. No.127. 1947.

65.- Chan, S. "The Mechanism of Autoxidation" del libro Autoxidation of Unsaturated Lipids. Ed. Academic Press, Inc. Orlando Fla. 1987.

66.- Weiss, T.J. Food Oils and Their Use. Ed. AVI Publishing Co. Westport, 1970.

67.- Werner, V. Structure and Crystallization of Glasses. Ed. Pergamon Press. Leipzig, 1971.

68.- Rawson, H. Inorganic Glass-Forming Systems. Ed. Academic Press, London, 1967.

69.- International Commission of Glass. Crystallization of Glass and Glass Ceramics. Editado por la International Commission of Glass. Charleroi, 1972.

70.- Gaskell, P.H. The Structure of Non-Crystalline Materials. Ed. Taylor & Francis. London, 1977.

71.- Balta, P. and Balta, E. Introduction to the Physical Chemistry of the Vitreous State. Ed. Abacus Press. Tunbridge, 1976.

72.- Terence Maloney, F.J. Glass in the Modern World. Ed. Aldus Books. London, 1967.

73.- Mari, E.A. "El Futuro del Vidrio". Ciencia Nueva. Vol.1. No.3. 1970.

74.- Phillips, C.J. El Vidrio. Artifice de Milagros. Ed. Reverté. Barcelona, 1948.

75.- Gateau, J.CH. El Vidrio. Ed. Ediciones R. Torres. Barcelona.

1976.

76.- Moody, B.E. Packaging in Glass. Ed. Hutchinson & Co. London, 1970.

77.- Meigh, E. The Story of the Glass Bottle. Ed. Ramsden & Co. Stokes-on-Trent, 1972.

78.- Zippe, A. "Automation of Raw Materials Handling in the Glassworks". Glass Technology. Vol.17. No.4. 1976.

79.- Moser, H. "Complete Plants for Treating External Cullet". Glass. Vol.54. No.8. 1977.

80.- Harwood, C.F. "Mixing and Blending". The Glass Industry. Vol.56. No.1. 1975.

81.- Taylor, J.R. "Chemical and Physical Properties of Raw Materials for Glass". Glass. Vol.52. No.8. 1975.

82.- Rodriguez Tarango, José Antonio. Introducción a la Ingeniería de Empaques. Para la Industria de Alimentos, Farmacéutica, Química y de Cosméticos. Editorial Particular: México, 1991.