

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



"REINGENIERIA DE LA DESCARGA DE VIDRIO"

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

POR:

ING. HUGO GUAJARDO MARTINEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. JUNIO DE 1997

TM
Z5853
.M2
FIME
1997
G8

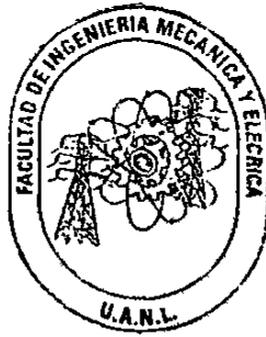
"REINGENERIA DE LA DESCARGA DE VIDRIO"

H. G. M



1020119969

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**"REINGENIERÍA DE LA DESCARGA DE
VIDRIO"**

T E S I S

**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON
ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

POR

ING. HUGO GUAJARDO MARTINEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

JUNIO DE 1997

0119-51860

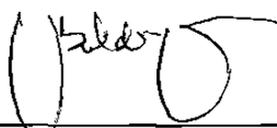
TM
Z5853
.M2
FINE
1997
58



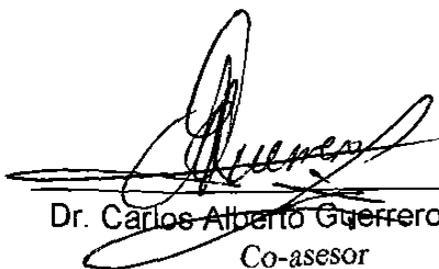
FONDO TESIS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

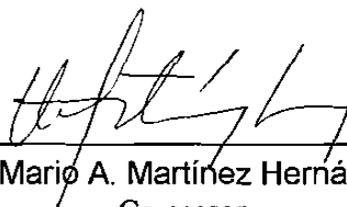
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "Reingeniería de la Descarga de Vidrio" realizada por el Ing. Hugo Guajardo Martínez, sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales.



Dr. Ubaldo Ortiz Méndez
Asesor



Dr. Carlos Alberto Guerrero Salazar
Co-asesor



Dr. Mario A. Martínez Hernández
Co-asesor



M.C. Roberto Villarreal Garza
Sub-director de Postgrado

San Nicolás de los Garza, N.L., Junio de 1997.

A MIS PADRES:

**Feliciano Guajardo Lozano y
María Teresa Martínez de Guajardo**

**"espero ser siempre capaz de darles buenas
satisfacciones"**

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ya que sin su apoyo económico no hubiese podido llegar a esta etapa de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su apoyo durante mis estudios de Licenciatura y Maestría.

Al Ing. Sergio Alanis, por su gran apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación, ya que sin su interés mostrado a lo largo del trabajo no hubiese sido posible haberlo llevado a cabo.

Al Dr. Ubaldo Ortiz, gracias por todo su entusiasmo y sus consejos, que han sido muy valiosos en todos los aspectos de mi vida.

Al Dr. Carlos Guerrero, por todo su apoyo que en realidad fue bastante y su gran ayuda para poder culminar con mi trabajo.

Al Dr. Mario Alberto Martínez, por su interés en mi trabajo.

Al Dr. Antonio Aguilar Garib, por sus valiosos consejos que me ayudaron durante el desarrollo de mi trabajo.

Después de los agradecimientos formales quiero agradecer:

Al "SER" que me ha permitido estar en este mundo y que me ha dado la oportunidad de progresar y haber llegado hasta este punto en mi vida: **DIOS**.

Agradezco a las personas que me han dado un carácter luchador, progresista y a la vez ganador: **MI FAMILIA**.

Empezando por mis **PADRES**, a los cuales admiro por sus agallas para formar una familia como la que tengo y por todo el apoyo que me han dado durante toda mi vida.

A **Luis**, gracias por ser el mejor ejemplo de mi niñez.

A **Lupe**, gracias por haber sido mi maestra, parte de tu filosofía es la base de mi entendimiento.

A **Tere**, gracias por tu apoyo brindado durante mi infancia.

A **Mirthala**, te agradezco el haber invertido en mi sin esperar nada a cambio.

A **Amalia**, gracias por enseñarme siempre a vivir con alegría y a tener un carácter determinante cuando se trata de alcanzar objetivos.

A **Guayo**, gracias por todo el apoyo que he recibido de ti bajo cualquier circunstancia.

A **Pello**, amigo más que hermano, espero que siempre sea así.

A toda mi familia gracias por creer en mí y espero no decepcionarlos en el futuro.

Al **Dr. Chacón**, gracias por su gran entusiasmo y carácter.

Gracias al **Dr. Ubaldo Ortiz** y al **Dr. Carlos Guerrero** por sus consejos, y a todos los **Doctores del DIMAT** donde aprendí lecciones no solo sobre materiales sino también sobre la vida, no siempre las cosas se dan como uno quisiera.

A la **raza del DIMAT**, empezando por mis compañeros de generación de quienes aprendí que la felicidad la alcanza cada quien con su forma personal de vivir: Mario (La Vaca Marina), Talamantes (Miramontes) y Nahúm (La Perrucha). Al Toño (Birolo) y al Pablo (Tarro) por esas pachangas que nunca se me van a olvidar (de lo que me acuerdo). Al Viejo, Moy, Chuy (el gordo), Cupich, Palafox, Efrén, Charlie, Julio, Charlie Esparza, Vampiro, Sigi, Lupisto, Ana María, Idalia, Esperanza, Doris, Los Chilacras, Juan, Paty, Claudia, Agustín, Domel, a todos con los que conviví en mi etapa de estudios en el DIMAT.

Finalmente quiero agradecer a la persona que se ha convertido en la mujer de mi vida: **Carmen**, gracias por tu motivación, inspiración y apoyo, apareciste en una etapa de mi vida llena de cambios y confusión, que dejé atrás con tu ayuda y comprensión, espero que siempre pueda resolver cualquier problema, ¡claro que contigo a mi lado!.

ÍNDICE

RESUMEN		1
CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 2	HISTORIA DEL VIDRIO	4
2.1	<i>Introducción</i>	4
2.2	Invención del Vidrio	5
2.3	Primeras Técnicas de Fabricación	6
2.4	Origen Geográfico	9
2.5	Era Científica del Vidrio	11
2.6	Historia del Vidrio en México	11
2.6.1	Vidrio de Botica	14
2.6.2	Vidrio de Vitrales	15
2.6.3	Vidrio Industrial en Monterrey	16
2.7	Tendencias a Futuro	17
CAPÍTULO 3	EL VIDRIO	20
3.1	Definición	20
3.2	La Estructura del Vidrio	21
3.3	Composición	26
3.4	Propiedades	29
3.4.1	Densidad	29
3.4.2	Dureza	29

3.4.3	Resistencia Mecánica	30
3.4.4	Fatiga	31
3.4.5	Elasticidad	32
3.4.6	Calor Específico	32
3.4.7	Conductividad Térmica	32
3.4.8	Reflexión	33
3.4.9	Color en el Vidrio	33
3.4.10	Expansión Térmica	34
3.4.11	Resistencia Térmica	34
3.4.12	Viscosidad	35
CAPÍTULO 4	CONTENEDORES DE VIDRIO Y SU MANUFACTURA	37
4.1	Introducción	37
4.2	Composición y Colores Utilizados para Envases de Vidrio	38
4.3	Diseño y Forma de los Envases	40
4.5.1	Partes de un Envase	40
4.5.2	Consideraciones de Diseño	41
4.5.3	Diseños de Terminaciones (Picos)	43
4.4	Manufactura de Contenedores de Vidrio	44
4.4.1	Descarga de Vidrio	45
4.4.2	Producción Automática de Contenedores	46
4.4.2.a	Proceso soplo - soplo	46
4.4.2.b	Proceso prensa - soplo	47
4.5	Sistema Actual de Descarga	48
4.6	Rediseño del Sistema Actual de Descarga	50

CAPÍTULO 5	DESARROLLO DEL MODELO	51
5.1	Introducción	51
5.2	Desarrollo del Modelo	52
5.2.1	Desarrollo del Modelo para Condiciones de Operación Específicas y para un producto determinado	55
5.2.1.1	Condiciones de Presión	56
5.2.1.2	Diagrama de Bloques Básico	57
5.2.1.3	Consideraciones Generales y Lógica Implementada en el Programa	58
5.3	Descripción de los Procedimientos Utilizados en el Programa	61
CAPÍTULO 6	RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL MODELO	63
6.1	Introducción	63
6.2	Relación entre Masa y Cortes por Minuto	64
6.3	Resultados para una Relación de los Cortes por Minuto de las Cuchillas con respecto a la Nueva Geometría Propuesta	67
6.4	Cálculos Matemáticos Aplicados al Rediseño de la Descarga	71
6.5	Resultados Adicionales	73
CAPÍTULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES	75
7.1	Conclusiones	75
7.2	Recomendaciones	77
ANEXO 1		78
REFERENCIAS		82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
2.1	<i>Formulaciones de como hacer dos tipos de vidrios, escritas en escritura cuneiforme en una tableta de arcilla</i>	5
2.2	Botella fabricada por el método de formado por núcleo con cuerpo café oscuro y decoración turquesa	7
2.3	Fragmentos de un jarrón de vidrio mosaico, hecho de secciones de tiras monocromadas acomodadas en forma de chevron	8
2.4	Mapa de parte de Europa, África del Norte, mostrando la localización de los principales centros de fabricación de vidrio	10
2.5	Frasco de vidrio típico de botica	15
2.6	Arte en vidrio típico mexicano	16
3.1	Estructura del SiO ₂	22
3.2	Impurezas modificadoras del vidrio	24
3.3	Logaritmo de la viscosidad contra temperatura para vidrios de sílice fundida	36
4.1	Identificación de partes para (a) Botella de cuello delgado y (b) De boca amplia	40
4.2	Ingeniería de diseño para un envase de almíbar	42
4.3	Diseño de un tipo de pico, mostrando sus dimensiones	43
4.4	Diseños comunes de picos para contenedores de vidrio	44
4.5	Esquema ilustrativo del sistema de descarga de vidrio	45
4.6	Manufactura automática de contenedores	47

4.7	Sistema actual de descarga de vidrio	49
5.1	Sección de la geometría cónica, la cual muestra las variables utilizadas en el cálculo desarrollado	52
5.2	Diagrama de flujo que muestra la secuencia lógica del cálculo de la geometría	57
6.1	Relación de la rapidez de producción contra el peso del envase a fabricar	65
6.2	Ejemplo de aplicación de este tipo de curvas	67
6.3	Relación de los diferentes diámetros de salida respecto a la velocidad de producción, calculada a diferentes ángulos de caída de la geometría en estudio	68
6.4	Geometría obtenida según datos de ejemplo	70
6.5	Rediseño de la descarga de vidrio (vista isométrica inferior)	72
6.6	Relación entre temperatura y velocidad de flujo	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
I	Proyección de Ventas de Envases	19
II	Papel del Óxido en la Formación del Vidrio	24
III	Composiciones de algunos Vidrios de Silicato	27
IV	Algunos Vidrios sin Silicato	29
V	Composiciones y Propiedades de Envases de Vidrio	39
VI	Variación de la Velocidad de Producción respecto a Constantes de la Ecuación entre Masa y Cortes por Minuto	65

RESUMEN

El desarrollo de éste trabajo se enfocó al estudio de una parte del proceso de la fabricación de envases de vidrio, con el objetivo de rediseñar la parte de la descarga, ya que las limitaciones del diseño original no permiten cambiar rápidamente de un producto a otro.

La descarga de vidrio consta de varios componentes (ver Figura 4.7), nuestro trabajo se enfocó en el rediseño del chorreador, ya que para llevar a cabo cambios de modelos de envases, es necesario cambiar los diámetros de salida de este componente. Para nuestro estudio se utilizó una geometría cónica para reemplazar al chorreador original debido a que las velas (preforma de vidrio) poseen forma cilíndrica y por lo tanto es necesario tener una salida circular para obtener esta forma, por esta razón se decidió utilizar una geometría cónica en el chorreador la cual captará el vidrio fundido de la noria y lo transformará en cilindros (velas), partiendo de éstos se fabricará el envase en la máquina sopladora.

Se utilizaron ecuaciones matemáticas para simular el comportamiento del vidrio cuando pasa a través de este tipo de geometrías bajo ciertas condiciones de operación, con el objetivo de establecer un procedimiento para obtener la geometría más adecuada para un producto determinado, además se sugiere un sistema mecánico de intercambio para poder llevar a cabo los cambios de tamaño de salida del chorreador más rápidamente.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La industria productora de envases de vidrio es muy importante en el ámbito mundial, ya que una de las primeras formas de distribución de bebidas fue por medio de este tipo de envases, y en la actualidad después de haber pasado por un periodo de debacle con respecto al aluminio y a los polímeros, existe un repunte de esta industria en el área de envases no retornables [1].

La forma de procesar el vidrio en México a permanecido casi sin modificaciones en su aspecto básico, y en los últimos años se han desarrollado estudios para entender y mejorar este proceso tan importante para la economía de nuestro país.

Este trabajo se desarrolló con el propósito de realizar reingeniería en la descarga del vidrio (la cual se encuentra en la sección que está entre la noria y las cuchillas cortadoras, ver Figura 4.7), para eficientizar el diseño que se utiliza en la actualidad, ya que existe una perdida de tiempo considerable durante cada cambio de producto, recordando que para llevar a cabo esto es necesario realizar un intercambio de bushigs y ademas este rediseño va a ayudar a mejorar la calidad del producto terminado.

Durante el desarrollo de este proyecto se tomó como base el comportamiento de un material viscoso en una geometría tal, que permitiera satisfacer las necesidades y requerimientos de producción para los distintos tipos de envases a producir. El tipo de geometría que se desarrolló fue cónica, debido a la necesidad de obtener un cilindro delgado de vidrio (vela) a partir de un contenedor de gran diámetro, cabe señalar que esta reingeniería tuvo que adaptarse a los demás componentes del sistema de descarga, como los son la parte inferior de la noria, el nuevo bushing y los demás aditamentos (Ver Figura 4.7), por lo que el diseño estuvo limitado en ciertos aspectos, principalmente de carácter geométrico.

También estaremos hablando de condiciones ideales, las cuales sabemos que no existen, pero que nos permiten obtener primeras aproximaciones a la solución del problema real, ya que el objetivo es establecer una lógica de análisis que permita ir modificando las suposiciones con el fin de aproximar lo más posible el modelo al comportamiento real.

Este trabajo es el inicio en el desarrollo de un modelo global sobre el comportamiento del vidrio a lo largo de todo el proceso de fabricación de envases, una vez desarrollado este modelo, el proceso se puede eficientizar ampliamente utilizando los modelos obtenidos para simular las condiciones de operación sin necesidad de invertir en material experimental o de pruebas.

CAPÍTULO 2

HISTORIA DEL VIDRIO

2.1 INTRODUCCIÓN

Los vidrios fueron utilizados en joyería en Egipto cerca del año 1480 a.C. debido a que poseía colores parecidos a los de las gemas, estos colores provienen de la inclusión de metales de transición en su composición. Algunas composiciones de los primeros vidrios, descritos en tablas de Asiria del año 1000 a.C., eran relativamente altos en alkalis u otras especies. Estos componentes reducen los puntos de fusión del vidrio y además le confieren una menor resistencia a la corrosión. Una de las formulaciones más antiguas - y ciertamente la mejor preservada - fué escrita en Mesopotamia en una tabla de arcilla en escritura cuneiforme, la cual data de entre los siglos doce y catorce a.C.. Sorprendentemente, ésta da instrucciones de como agregar plomo, cobre y antimonio en diferentes proporciones para dos tipos de vidrio "en bruto", cuya manufactura no está descrita (ver Figura 2.1). Sin embargo su poca resistencia a la corrosión limitó la preservación de ejemplos de este material, sin embargo gracias a el clima árido de Egipto se logró la preservación de algunos objetos [2].

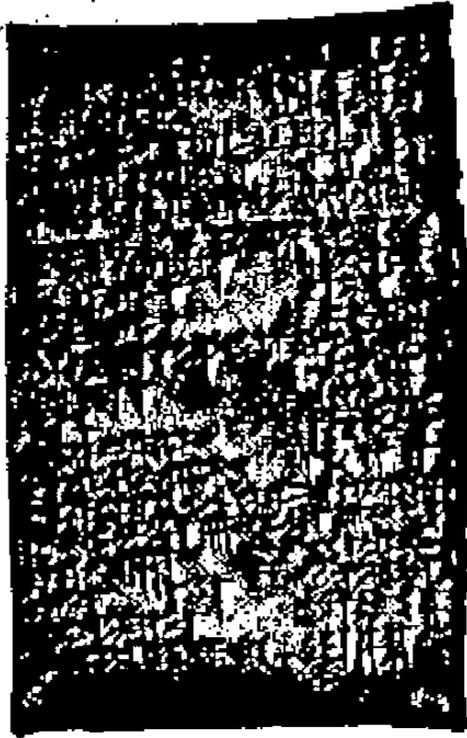


Figura 2.1: Formulaciones de como hacer dos tipos de vidrios, escritas en escritura cuneiforme en una tableta de arcilla. Éstas instrucciones son las mejor preservadas y probablemente las primeras grabadas concernientes a la manufactura del vidrio en el mundo antiguo. Mesopotamia, siglo doce al catorce a.C., H. 9.5 cm.

2.2.- INVENCIÓN DEL VIDRIO

Existe una historia la cual dice que una embarcación perteneciente a unos mercaderes de nitrato (sales) desembarcaron en la costa de lo que hoy se conoce como el Líbano y se establecieron en la costa para preparar su comida. Debido a que no tenían piedras para sostener los calderos, los pusieron sobre los terrones de sal (nitrato) de su cargamento. Cuando éstas se calentaron y fueron completamente mezcladas con la arena de la playa una extraña corriente de líquido fluyó; y ésto, se dice, fué el origen del vidrio [3].

Ahora sabemos que ésta notable sustancia hecha por el hombre fué manufacturada primero en el Lejano Este, en el país llamado en la antigüedad Mesopotamia (que literalmente significa "en medio de los ríos").

Sin embargo, de acuerdo a Pliny [3] los tres ingredientes principales del vidrio en la antigüedad, eran la soda (sosa), la sílice y el lime (cal). El Nitrato (o natron, como es usualmente llamado hoy) reacciona naturalmente para formar la soda; la arena es la sílice, y ésta probablemente contenía lime (cal), el tercer elemento necesario. Si nada más se le agregaba a la mezcla soda/lime/sílice, el vidrio resultante era usualmente verde azulado debido a la presencia de al menos algo de hierro en casi toda la arena. El vidrio coloreado era fabricado con la adición de óxidos metálicos específicos y variando las condiciones del horno (y por lo tanto la temperatura de quemado). Por ejemplo, en la antigüedad el cobre producía turquesa o azul claro, rojo rubí o rojo opaco oscuro, mientras que la adición de cobalto resultaba en azul marino; el manganeso era requerido para el vidrio ambar o púrpura, antimonio para el amarillo opaco (o naranja claro) y blanco opaco; hierro para azul claro, verde botella, ambar o un color oscuro aparentando negro. Casi la ausencia de color (semejante al vidrio cristal moderno) podía ser obtenido por la selección cuidadosa de arena plata fina libre de hierro. El manganeso, y sobre todo el antimonio, son agentes efectivos muy usados como decolorantes, al menos en la era Romana.

2.3.- PRIMERAS TECNICAS DE FABRICACION

Los potenciales de este nuevo material no fueron notados inmediatamente, en las etapas iniciales solo se produjeron abalorios (bolitas perforadas) y otros objetos pequeños, formados o fundidos usando herramientas simples y terminados con técnicas de trabajadores de piedras. Las primeras vasijas fueron hechas en Asia occidental un poco antes de 1500

a.C. Un poco después, en el siglo décimo quinto a.C., la industria Egipcia nació. Por este tiempo, también, el vidrio empieza a ser mencionado en fuentes escritas de Mesopotamia (referencias más actuales son quizás objetos vidriados, tazones por ejemplo).

Fué un avance tecnológico alrededor de la mitad del siglo dieciseis a.C. que llevó a la creación de las primeras vasijas y permitió a la industria llegar a ser establecida formalmente. Este era la técnica de formado por núcleos, el cual fué el método más establecido para la manufactura de vasijas en los siguientes 1,500 años o más.

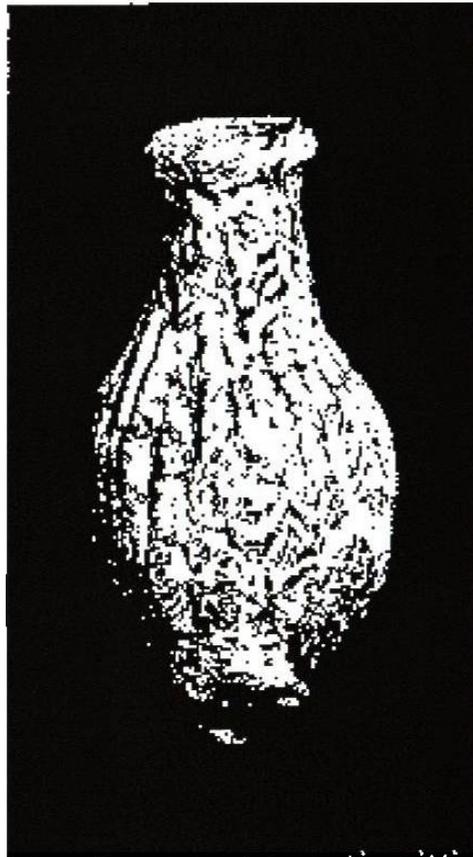


Figura 2.2.-Botella fabricada por el método de formado por núcleo con cuerpo café oscuro (ahora casi completamente gris por la acción del clima) y decoración azul turquesa. Este ejemplar fué encontrado en una tumba de siglo trece en Ur (Mesopotamia), pero tales botellas son pertenecientes a las primeras vasijas, fabricadas en Mesopotamia del norte alrededor de 1525-1500 a.C.,H. 11.3 cm.

Los primeros ejemplos parecen haber sido producidos en Mesopotamia del norte. Las formas incluyen largos horneros de lados lisos con bases de capullo, similares a las vasijas de alfarería contemporánea, y botellas de una gran variedad con bases puntiagudas o en forma de disco (ver Fig. 2.2).



Figura 2.3.- Fragmentos de un jarrón de vidrio mosaico, hecho de secciones de tiras monocromadas acomodadas en forma de chevron. Éste fué el primer tipo de vidrio mosaico fabricado, otra técnica inventada en Mesopotamia del norte. Excavada en Tell al-Rimah, Mesopotamia; 1350 - 1250 a.C.. El fragmento más grande mide 7.7 X 6 cm.

No existe evidencia en el mundo antiguo que muestre que el vidrio haya sido producido vaciándolo en moldes abiertos hasta su enfriamiento, Ésta técnica permitiría las fundiciones de moldes planos para abalorios, amuletos, incrustaciones, estatuillas y otros objetos. Es igualmente posible que muchos de estos tipos fueran producidos presionando el molde sobre el vidrio suave recién vaciado en la superficie plana del molde, i.e. 'molde a presión'.

De los colores que sobreviven y de las referencias textuales es claro que los primeros fabricantes de vidrio estaban tratando de imitar piedras preciosas y semipreciosas tales como lapis-lazuli o turquesas (las azules) y oro (amarillo). Es claro también que el vidrio era un material de lujo tal y como era, producido en las ciudades más grandes para el mercado aristocrático, generalmente para la realeza o para los clérigos, debido a que la mayoría de las piezas excavadas han sido encontradas en las ruinas de templos o palacios o en las tumbas, más que en casas privadas.

2.4.- ORIGEN GEOGRAFICO

Así, a finales del siglo dieciseis y durante el siglo quince a.C., la fabricación del vidrio involucró rápidamente el norte de Mesopotamia. Vasijas de vidrio mesopotámicas y otros objetos han sido encontrados en muchos sitios en el Medio y Cercano Este, desde Persia (Iran en la actualidad), Elam y Babilonia en el este de Siria y Palestina en la costa del Mediterráneo, y en otros centros de civilización al final de La Era del Bronce como Cyprus y la Grecia Micénica. Es posible también que, motivados por las conquistas militares del faraón egipcio Tuthmosis III se produjo vidrio en Siria y hasta las fronteras de Mesopotamia. Desde 1450 a.C., desde Asia salían trabajadores a Egipto para trabajar en la industria del vidrio. Fué a la mitad del siglo catorce a.C. que la industria alcanzó su pico en tanto en Asia del oeste como en Egipto, pero ésta continuó floreciendo hasta cerca del 1200 a.C. y durante éstos años ésta se extendió todavía más.

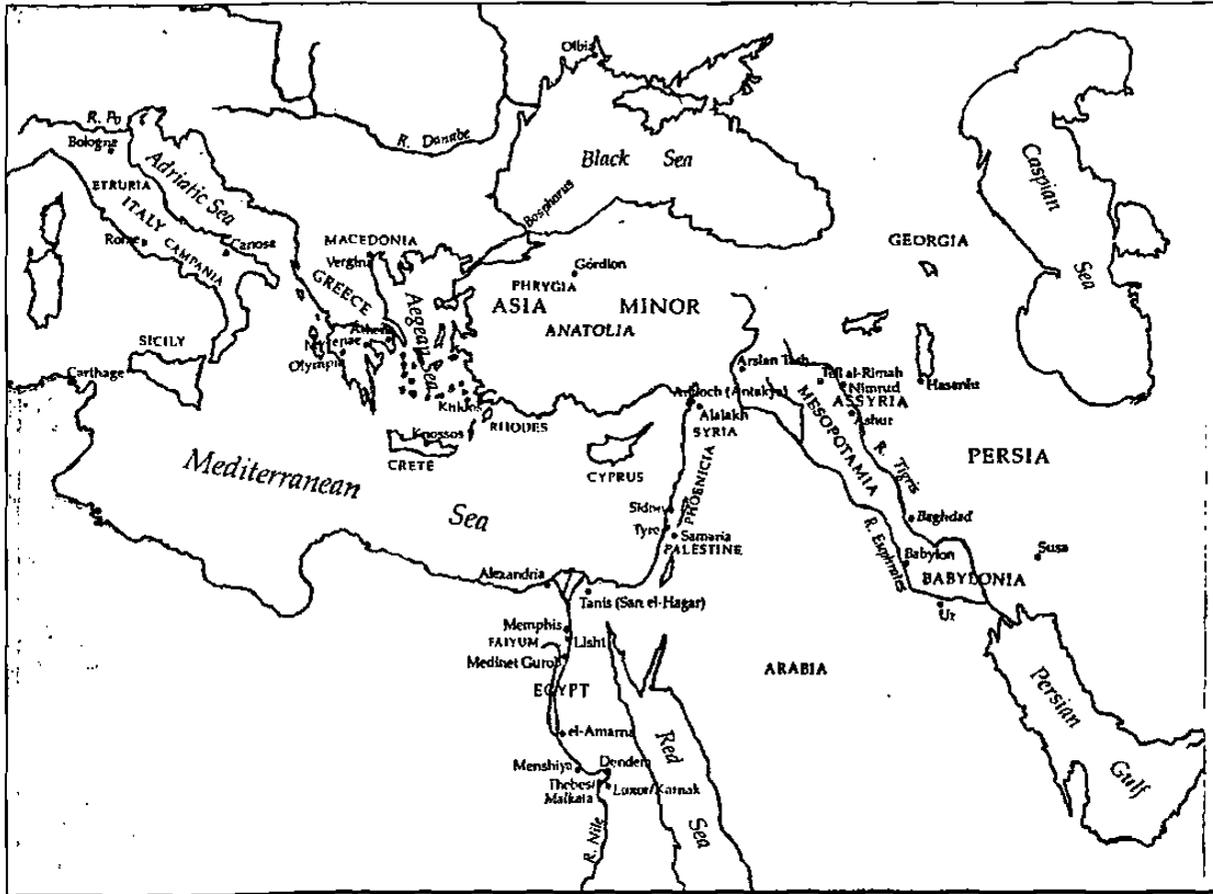


Figura 2.4.- Mapa de parte de Europa y Africa del Norte, mostrando la localización de los principales centros de fabricación de vidrio y otros sitios mencionados en éste capítulo.

Cerca del final del siglo trece a.C. el primer florecimiento de la industria del vidrio llegó a su final. Las destrucciones y los desastres llevaron a las civilizaciones de la Era del Bronce a un periodo de casi anarquía y no dudaron en cerrar el mercado para vasijas de vidrio, el cual había dependido de la aristocracia y el clero. Vasijas muy pequeñas han sido encontradas para el periodo entre 1200 y 900 a.C., sin embargo pequeños objetos tales como abalorios (bolitas perforadas), sellos y alhajas probablemente continuaron siendo hechos, especialmente en Siria.

2.5.- ERA CIENTÍFICA DEL VIDRIO

Cuando la Europa del oeste emergió de la era del Oscurantismo y los estudios científicos empezaron a surgir, el vidrio fué utilizado para aparatos científicos. Uno de los primeros ejemplos fué el vidrio para el termómetro, el cual apareció en el año 1550 d.C..

Los primeros trabajos en microscopios y telescopios llevaron a estudios sistemáticos de las propiedades ópticas del vidrio y del desarrollo de lentes de vidrio en 1590. Los científicos tales como Faraday, identificaron los defectos y propiedades de los vidrios ópticos existentes y condujeron a estudios extensivos de nuevas composiciones y técnicas para mejorar los procesos de fundición. Faraday identificó al platino como un material excelente para crisol para la fundición de vidrio y colaboró con su abastecedor de platino, Wollaston, quien desarrolló técnicas de fundición y formado para el platino.

La necesidad de mejorar la resistencia a la corrosión de los aparatos de laboratorio químico, dirigidos por el inicio de la química moderna, llevaron al desarrollo de vidrios resistentes a la corrosión aceptables por el año de 1824. La evolución de la ciencia del vidrio antes de 1900 consistió principalmente de avances en la formulación, en la fundición, y en la tecnología de formado.

2.6.- HISTORIA DEL VIDRIO EN MEXICO

A su llegada los españoles intercambiaron el vidrio, por oro, plata o hilo de algodón. Fué tan importante que lo resguardaron en el Templo Mayor, lugar donde se han encontrado varios fragmentos. En aquellos años, los indígenas solo conocían y trabajaban la obsidiana y el Cristal de Roca. La obsidiana era utilizada principalmente para hacer armas de guerra, como puntas de lanza y cuchillos; y el cristal de roca tenía más carácter decorativo u ornamental [4].

El vidrio Boticario empieza a apreecer en nuestro país desde el siglo XVII. Durante la época de la Colonia, en España, casi todo el vidrio se trabajaba en “La Granja” la fábrica Real Española, única autorizada para la elaboración y venta de piezas de vidrio; se utilizaba una técnica llamada de la “pepita”, la cual simulaba semilla o pepitas labradas en la superficie, cabe mencionar que todo el vidrio era soplado. En 1770 existía un barco llamado El “Dragón” el cual se encargaba de transportar objetos de vidrio entre Europa y México.

Las burbujas de vidrio eran comunes, se utilizaban para marcar puntos en el mar o sostener redes para pescar.

Durante el Virreinato, en algunas minas de México, principalmente en San Luis Potosí se encontró oro y plata mezclados en una sola pieza. Para separar los metales, se creó la fábrica del apartado. La importancia para nosotros es que dentro de ésta fábrica existía un gran taller de vidrio, ya que en el proceso de separación de los metales se utilizaban ácidos, que sólo podían ser contenidos en “cornamusas “ de vidrio. Este taller interno suplía la gran demanda de éstas piezas.

El primer taller de vidrio se estableció en la ciudad de Puebla, donde aún existe la Placa con el nombre “Calle del Horno del Vidrio “. Se sabe que fué Rodrigo Despinosa el primer vidriero en la Nueva España, llega hacia 1533 con los primeros españoles, pero se avecina en Puebla en el año de 1542. tanto Don Rodrigo Despinosa como otros artesanos que llegaron después, utilizaron la “barilla” en la fabricación del vidrio.

Cuando el indígena aprende la técnica, empieza a copiar casi a la perfección las piezas europeas. Aparecen ya botellas con rosca, innovación para la época.

En ocasiones, el vidrio también simula metales preciosos. De los siglos del XVIII - XIX, sólo las Catedrales o grandes Iglesias poseían Cáliz y otros objetos y figuras litúrgicas en oro y plata; por lo tanto, las pequeñas capillas sin posibilidad económica, optaron por el vidrio azogado o "plata del pobre ". La parte interna de éstos recipientes era sumergida en mercurio o plata para dar la apariencia de que estaban hechas en metales preciosos. Este tipo de vidrio es sumamente ligero y frágil lo que hace interesante el trabajo de estas piezas, que están decoradas y dibujadas a pesar de su fragilidad. Para la época era un trabajo artesanal delicado si tomamos en cuenta que el artesano debía utilizar ácidos en su realización.

Un lote de botellas poblanas del siglo pasado (XIX) puede ser el primer intento de una producción en serie, todavía en forma artesanal , no industrial, donde el vidriero debía utilizar una caña y soplar a través de ella, trabajando con un tiempo de entre 20 segundos a un minuto mientras el material está caliente y es maleable.

Cuando el europeo llegó a México trajo consigo sus bebidas: vino y cerveza principalmente. Aquí se bebía pulque, el cual a causa de sus orígenes prehispánicos, no se consideraba digno de ser servido en cristalería europea; por lo que gracias a ello y por fortuna para nosotros el pulque tuvo que crear sus propios recipientes, resultando piezas extraordinarias y pintorescas. Además, según la medida que pidieran o según su forma a los recipientes del pulque se les conocía como: macetas o camiones, catrinas, tornillos, cacarizas, chivatos, chivos tripas, violes, reinas, etc.

Como el pulque es una bebida muy fermentada y las pulquerías eran cuartos de madera con piso de tierra, había una gran cantidad de moscas, para evitar que éstas cayeran en la bebida, se utilizaban las esferas de vidrio como

tapa. Con el tiempo, el pulque fué desplazado por la cerveza, como principal bebida del mexicano.

Los grandes cucharones, se estuvieron utilizando, hasta hace unos 30 años en la fabricación de vidrio plano. Servían para transportar el material de los hornos a los rodillos o planchas.

Una de las familias que más aportó al establecimiento de una tradición vidriera mexicana y a su reconocimiento a nivel internacional fué la familia de Camilo Avalos quien funda en 1889 una pequeña fábrica de vidrio soplado en la Calle de Carretones en la Ciudad de México.

Tanto Don Camilo como su esposa, sus cinco hijos y su nieto crearon un repertorio amplísimo de piezas que abarcaba desde influencias venecianas y andaluzas hasta originalísimas bustarias y adaptaciones derivadas de la cerámica mexicana. Este taller ha sido traspasado a otras personas, quienes siguen trabajando con la misma técnica en las instalaciones originales.

2.6.1.- Vidrio de botica

Desde hace mucho tiempo en sótanos y otros lugares se soplaban y moldeaban recipientes para el uso de alquimistas y médicos: retortas, redomas, probetas y frascos de toda especie.

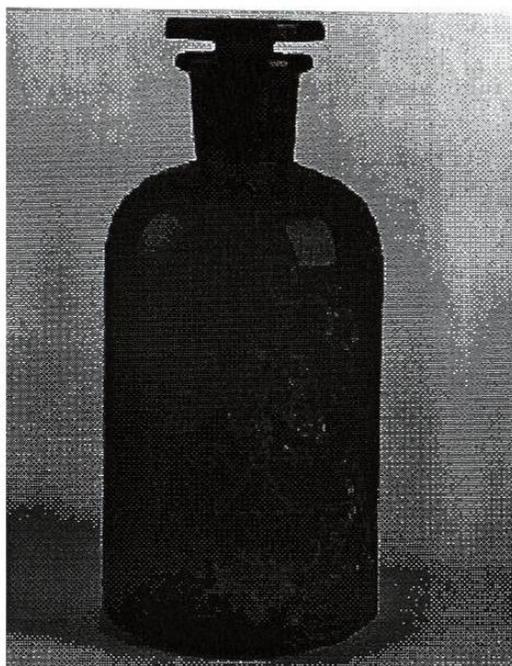


Figura 2.5: Frasco de vidrio típico de botica

En México, desde hace siglos se empleaban frascos de vidrio para farmacias (ver Figura 2.5) como lo evidencian los envases de vidrio encontrados en el Ex-Convento de Guadalupe en Zacatecas y cuyas formas se remontan al medioevo.

2.6.2.- Vidrio de vitrales:

A principios de nuestro siglo, en 1901, son Claudio Pellandini y sobre todo Victor Francisco Marco quienes destacan como los impulsores y creadores de los más importantes vitrales para Iglesias, Catedrales, Palacios de Gobierno y casas particulares de México, utilizando vidrio soplado para obtener vidrio plano.

En un principio no eran sino simples huecos en las paredes, pero con el tiempo empezaron a agrandarse ante la necesidad de aire y luz. Es a finales del siglo XVI cuando comienzan a elaborarse pequeños vidrios de forma

regular unidos mediante la antigua técnica del emplomado, para las ventanas de los principales templos.

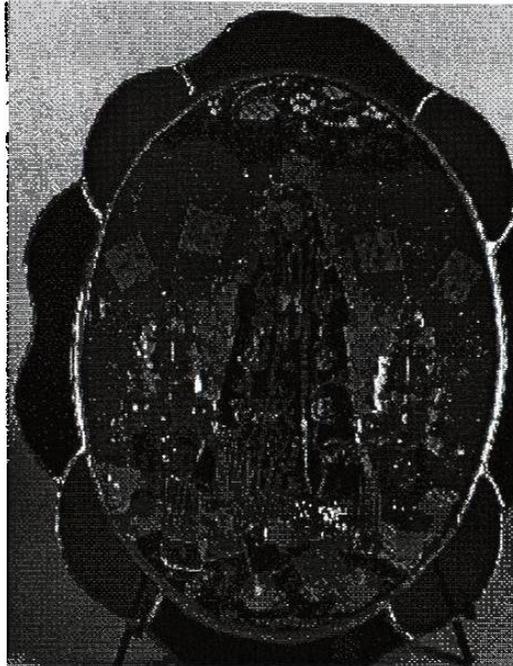


Figura 2.6.- Arte típico Mexicano

2.6.3.- Vidrio Industrial en Monterrey:

La Empresa Vidriera Monterrey queda constituida el 6 de diciembre de 1909, con un capital inicial de \$1,200,000 aportados por diez miembros fundadores. Desde un principio Don Roberto G. Sada, fungió como Gerente General de la recién constituida Empresa.

Vidriera Monterrey inicia trabajando con dos máquinas Owens que producían 20,000 botella diarias cada una. Es entonces con la instalación de éstas máquinas que la fabricación del vidrio deja de ser exclusivamente a nivel artesanal o de pequeños talleres para trabajar a nivel industrial, convirtiéndose así Monterrey en la cuna del vidrio industrial, lugar que no poseía la más

mínima tradición vidriera. Y fué realmente la elaboración masiva de botellas cerveceras, el detonador de la gran industria vidriera.

Después de enfrentarse a muchas vicisitudes y problemas, y verse afectada por la Revolución Mexicana y la Depresión de los Estados Unidos, la Empresa resurge y en 1928 inician las exportaciones a Guatemala y el Salvador, en 1936 comienza a operar Cristalería, fabricando vasos, platos y otros utensilios. En ese mismo año también se forma la Compañía Vidrio Plano.

Actualmente es muy difícil, encontrar artesanos que trabajen las piezas con detalle y colorido. Cada dos años, el Centro de Arte Vitro en colaboración con FONART organizan un Concurso Nacional para los artesanos del vidrio.

2.7 .- TENDENCIAS A FUTURO

Los elementos importantes a través del desarrollo histórico del vidrio han sido mejoras en la formulación de su composición, en la forma de fundición y en el formado. Es casi cierto que los avances importantes continuarán sobre éstas mismas áreas. Esto puede ser una consecuencia del hecho de que muchas composiciones con combinaciones deseadas de propiedades pueden ser inalcanzables hasta que una técnica sea planeada para preparar un vidrio de composición deseada.

Junto con el trabajo de investigación en composiciones avanzadas de vidrios, el trabajo que se ha venido desarrollando en el área de vidrios nitrurados en los años 90's parece producir importantes mejoras en las propiedades de los vidrios. El trabajo que se ha hecho en los vidrios contenedores de halógenos puede esperarse que nos lleve a obtener vidrios con nuevas propiedades deseables.

Nuevas técnicas están emergiendo para preparar y formar los vidrios incluyendo amorfización mecánica, implantación iónica, procesos basados en sol-gel, y técnicas de depositación electrónica. Muchas de éstas técnicas de preparación permitirían la producción de vidrios con nuevas composiciones, y, además vidrios con combinaciones de propiedades deseables.

En los últimos años se ha estado pronosticando un pronunciado descenso en la producción de envases de vidrio a pesar de ser ese el método más usado en la industria de bebidas. Sin embargo, un estudio del Instituto de Envases de Vidrio de los Estados Unidos en 1993, reveló que las ventas de envases de vidrio en este país aumentaron un 4% con respecto al año anterior. Además la industria cervecera embotelladora de Estados Unidos le ha ganado un 1% al volúmen de ventas de las latas metálicas, a medida que se acentuó la preferencia de los consumidores por el vidrio.

En contraparte las industrias de bebidas carbonatadas se están apartando rápidamente del vidrio, en favor de envases desechables pequeños hechos de polietileno.

En México se proyecta que el consumo de envases de vidrio retornable bajará en los próximos años de un 76 a un 49% del mercado; y el de envases desechables de vidrio aumentará hasta abarcar 8% comparado con el 2% actual [1].

En la siguiente Tabla se muestra la participación actual y futura del mercado mexicano de bebidas carbonatadas.

Tabla I. Proyección de las Ventas de Envases [1]

PARTICIPACIÓN (%) DEL MERCADO MEXICANO DE ENVASES DE BEBIDAS CARBONATADAS

	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Retornables de Vidrio	76.0	65.0	60.0	55.0	52.0	49.0
Retornables de polietileno	20.0	25.0	26.0	23.0	18.0	15.0
Desechables de vidrio	1.5	3.0	4.0	5.5	7.0	8.0
Desechables de polietileno	1.0	4.0	6.0	10.0	15.0	18.0
Latas	2.5	3.0	4.0	6.5	8.0	10.0

CAPÍTULO 3

EL VIDRIO

3.1.- DEFINICIÓN

El vidrio es definido por la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (ASTM) como:

“Producto de fusión inorgánico el cual ha sido enfriado hasta una condición rígida sin cristalizar. (a) El vidrio es típicamente duro y frágil. Puede estar sin color o coloreado, transparente u opaco. La masa o cuerpo del vidrio puede ser coloreado, translucido, u opaco por la presencia de material disuelto, amorfo o cristalino. (b) Cuando un tipo específico de vidrio es señalado, en términos descriptivos tales como vidrio altamente resistente, vidrio de bario, y vidrio para ventana debe seguirse la definición básica, pero el término calificativo debe ser usado y entendido por el cliente. (c) Objetos hechos de vidrio son ampliamente y popularmente referidos como vidrios; tales como el vidrio para vasos, para barómetros, para ventanas, para lupas, o para espejos.”

[5]

Ahora existen vidrios para usos electrónicos y nucleares, para tubos de imágenes de TV, para aislamientos eléctricos, para fibras ópticas, para lasers, etc.

3.2.- LA ESTRUCTURA DEL VIDRIO

La estructura inorgánica de los vidrios está basada en el dióxido de silicio (arena). El cuarzo cristalino con estructura hexagonal es la unidad básica estructural con un átomo de silicio rodeado por cuatro átomos de oxígeno. Los cuatro grandes átomos, cercanamente espaciados, sujetan entre ellos el pequeño átomo de sílice. Ambos tienen asignados un radio atómico, y la distancia entre centros de átomos en el cristal es la suma de los dos radios. Teóricamente los átomos no son esferas sólidas, pero los diámetros asignados incluyen una esfera de influencia del segmento más lejano de las partes del átomo. La relación de un silicio para cuatro oxígenos (la coordinación) satisface las cargas eléctricas de éstos elementos con cada átomo de oxígeno ligando dos átomos de silicio. Esto provee el continuo (el encadenamiento) necesario para una estructura masiva. Este es un sólido tetraédrico, con un determinado número de estas combinaciones tetraédricas, y con todos los oxígenos ligando para formar una estructura fuerte. *Esta estructura repetida es cristalina (Ver Figura 3.1)*

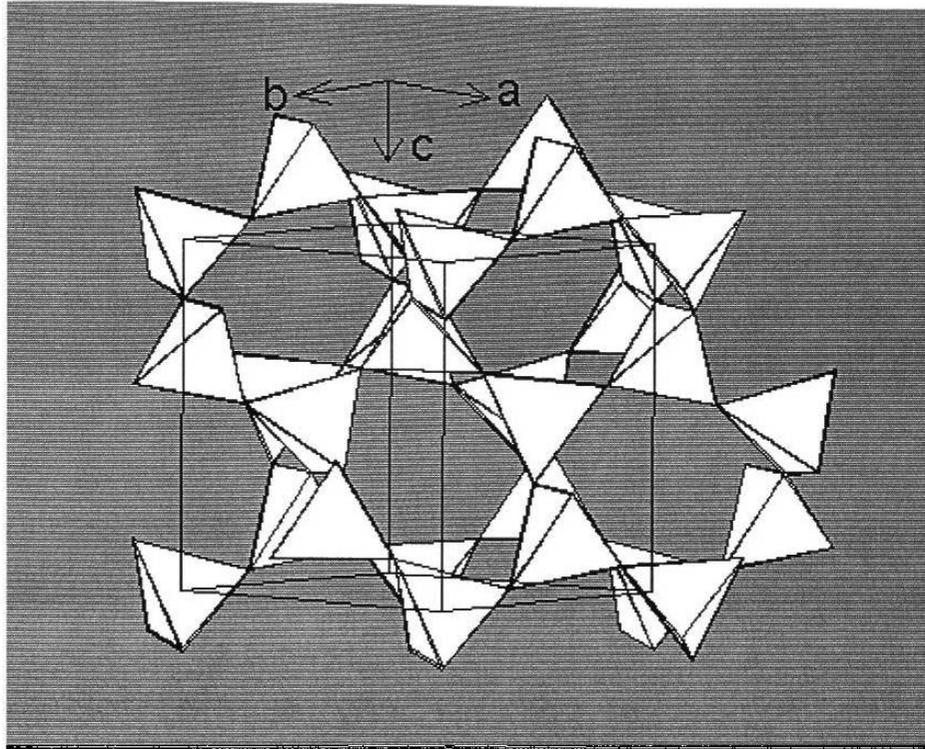


Figura 3.1.- Estructura del SiO₂

Cuando los cristales de cuarzo funden a muy alta temperatura y se transforma en un líquido viscoso, muchos enlaces de oxígeno son rotos. Durante el enfriamiento del vidrio, la viscosidad se resiste al flujo requerido para que los átomos se puedan acomodar en las posiciones necesarias para formar un cristal. La cadena estructural resultante, con un arreglo al azar de formas tetraédricas (no todas con seis lados, pero algunas con cuatro, cinco, siete, y hasta ocho lados) tal como lo vemos en un vidrio plano es cuarzo fundido. Los ángulos están distorsionados, aún aquellos con seis. El vacío en la estructura es de forma y tamaño variable. Tenemos una cadena al azar con ningún par de segmentos iguales.

Componentes adicionales forman vidrios a más bajas temperaturas (debido a la acción eutéctica). Acomodando un óxido alcali, muchos de los enlaces de oxígeno son rotos, debido a que existe un exceso de oxígeno del alcali. El átomo de sodio no entra a la cadena pero se establece alrededor en

hoyos dando neutralidad eléctrica a los enlaces rotos de oxígeno. La cadena es debilitada, y se funde a menor temperatura.

Agregando iones calcio (Ca^{2+} o Ca^{1+}) se romperán más puentes de oxígeno, formando vidrio complejo de iones sodio, iones de calcio, y de iones de silicio no solubles en agua. Los óxidos de calcio, magnesio, etc., son relativamente insolubles y transfieren esta característica al vidrio. Estos han sido llamados estabilizadores del vidrio.

La Tabla II muestra los óxidos que son “formadores”, “modificadores” e “intermediarios” de red. Los *formadores de red* incluyen óxidos que forman poliedros de óxido los cuales pueden conectarse con la red de tetraedros de SiO_4^{4-} asociados con el SiO_2 vítreo. Los óxidos de Na_2O y el CaO no forman poliedros de óxido en la estructura del vidrio, en lugar de ello tienden a romper la continuidad de la red tipo polímero del SiO_2 .

Podríamos referirnos al esquema de la Figura 3.2 de la estructura de vidrio de alcali-silicato. Agregar iones de Na^+ al vidrio de silicato aumenta sustancialmente la formabilidad del material en su estado de líquido superenfriado (es decir, la viscosidad se reduce). El rompimiento de la red conduce al término *modificador de red*. Estos modificadores de red hacen que el artículo de vidrio sea más fácil de formar a una determinada temperatura pero incrementan su reactividad química en ambientes de servicio. Algunos óxidos como el Al_2O_3 y el ZrO_2 no son por sí mismos formadores de vidrio, pero el catión (Al^{3+} o Zr^{4+}) puede ser sustituto del ión Si^{4+} en un tetraedro de red, contribuyendo por tanto a su estabilidad. Estos óxidos, que no son formadores ni modificadores se conocen como *intermediarios*.

TABLA II

Papel del óxido en la formación de vidrio [6]

Formadores de red	Intermediarios	Modificadores de red
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O
B ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O
GeO ₂	ZrO ₂	CaO
P ₂ O ₅		MgO
		BaO
		PbO
		ZnO

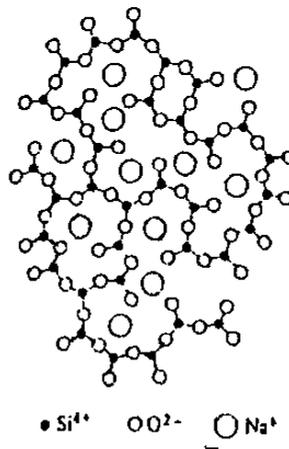


Figura 3.2.- Las impurezas químicas tales como el Na⁺ son un "modificador de vidrio" y rompe la red aleatoria cancelando los iones de oxígeno puente.

Otros elementos como el azufre, el selenio y el telurio, forman cadenas en la estructura vítrea. De forma similar, otros óxidos aparte del sílice, tales como el óxido bórico, el óxido de germanio, el óxido de fósforo y el óxido de arsénico pueden entrar en la cadena estructural.

El tipo de enlace en el vidrio es tanto iónico (carga eléctrica opuesta) como covalente (cargas eléctricas similares) - siendo éste último el predominante. En ambos, los electrones están colocados de tal forma que producen materiales fuertes, duros con puntos de fusión relativamente altos. Los efectos ópticos, incluyendo transparencia, dependen del tipo de enlaces además de las caras físicas asociadas.

El vidrio a alta temperatura es un líquido Newtoniano con una relación directa entre esfuerzo y flujo. La pendiente de esta relación da la resistencia al flujo que se define como viscosidad. Decir que el vidrio posee una estructura líquida no ayuda debido a que la estructura atómica exacta de un líquido común no es universalmente definida o aceptada. Existe un rango de orden corto - orden atómico de tres o cuatro vecinos cercanos - y uno de desorden largo - constantemente rearrreglado y reajustado.

Debido a que la estructura del líquido ha sido congelada en un sólido elástico, el vidrio a temperatura ambiente ha sido llamado líquido superenfriado. Esta visión es errónea debido a que el vidrio sólido con propiedades elásticas muestra diferencias en ciertas propiedades de las del vidrio líquido. Esta diferencia indica una relación de energía diferente.

Debido a que los componentes de vidrio no necesitan estar presentes en relaciones atómicas exactas, es de esperarse que los vidrios varíen ampliamente en composición. Más de la mitad de los elementos son usados en los vidrios.

3.3.- COMPOSICIÓN

Existe un gran número de formulaciones de vidrios. Cada variación porcentual de cada constituyente hace un vidrio diferente, debido a ésto esta discusión es restringida a seis composiciones de los vidrios más usados.

El vidrio soda-lime-silica (incluyendo pequeños porcentajes de alúmina y magnesia) es el mas comúnmente utilizado. Mas del 90% del tonelaje del vidrio es de este tipo.

Los primeros tres grupos de composiciones de la Tabla III cubren este tipo. Existen diferencias mayores en cuanto a composición. Los contenedores de vidrio enfrentan frecuentemente requerimientos de rigidez química y durabilidad - la resistencia del vidrio a líquidos embotellados en él. Los vidrios de ventana deben resistir exposición al ambiente por años, el lavado por las lluvias y la limpieza periódica. La alúmina le proporciona gran estabilidad química. Todas éstas composiciones contienen algo de óxido de hierro, siendo utilizado en menor cantidad en las vajillas para un mejor color, y para el vidrio plano buscando la transparencia. Cada composición específica de vidrio soda-lime-silica es un compromiso entre sus propiedades de manufactura y uso. Así los que contribuyen para un costo menor son: el SiO_2 , CaO , MgO ; para facilitar su fundición: Na_2O , K_2O , CaO , MgO ; para disminuir su expansión térmica: SiO_2 , Al_2O_3 ; para una menor temperatura líquida: Al_2O_3 , Na_2O , K_2O ; para una mayor durabilidad química: Al_2O_3 , SiO_2 ; para un procesado más rápido durante su manufactura: CaO , MgO .

El vidrio de borosilicato, usado en hornos, aparatos de laboratorio, debe resistir grandes choques térmicos y debe ser químicamente durable. Su baja expansión térmica le proporciona más resistencia al choque térmico.

Las fibras de vidrio requieren una composición de alta durabilidad. Las fibras de vidrio poseen una gran área superficial por unidad de volumen de vidrio por lo que deben de ser muy resistentes a la acción del ambiente. Estos vidrios están esencialmente libres de álcalis, y están altos en alúmina y óxido bórico.

TABLA III.

Composiciones de algunos vidrios de silicato (Todo lo listado esta sin color).

	Contenedores de vidrio	Bulbos para Lámparas y vajillas	Vidrio plano hojas & placas
SiO ₂	71.5 - 73.5	70 - 72.5	71 - 73
Al ₂ O ₃	0.4 - 2.2	0.3 - 2.6	0.5 - 1.5
CaO	7.8 - 10.8	5.4 - 6.5	8 - 11
MgO	0.1 - 3.6	3.0 - 4.5	1 - 4
BaO	0.0 - 0.5	----	----
PbO	----	----	----
Na ₂ O	12.5 - 15.5	15.8 - 17.0	13 - 15
K ₂ O	0.4 - 1.0	0.3 - 1.2	0.3 - 0.8
B ₂ O ₃	0.0 - 0.2	0.0 - 0.5	----
Fe ₂ O ₃	0.04 - 0.05	0.03 - 0.04	0.06 - 0.1

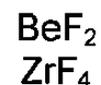
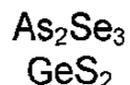
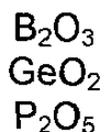
TABLA III (Continua)

	Cristal de plomo y potasio	Aparatos de Laboratorio y de uso en hornos	Fibras de vidrio (un tipo)
SiO₂	55 - 56	80 - 81	54 - 55
Al₂O₃	0.0 - 0.2	2.2 - 3.1	14 - 15
CaO	0.0 - 0.2	0.0 - 0.2	17 - 22
MgO	----	----	4 - 9
BaO	----	----	----
PbO	31 - 33	----	----
Na₂O	0.0 - 0.2	3.9 - 4.5	----
K₂O	11 - 12	0.0 - 0.3	----
B₂O₃	----	12 - 13	8 - 10
Fe₂O₃	< 0.03	0.07 - 0.09	----

La Tabla IV lista vidrios sin silicato. Los vidrios de óxido sin silicato como el B₂O₃ por lo regular son de poco valor comercial debido a su reactividad con ambientes típicos como el vapor de agua. Sin embargo, pueden ser aditivos útiles para los vidrios de silicato (por ejemplo los vidrios de borosilicato). Algunos de los vidrios sin óxido han llegado a ser comercialmente importantes. Por ejemplo los vidrios de calcogeniuro son con frecuencia semiconductores. Las fibras de vidrio de tetrafluoruro de zirconia (ZrF₄) han demostrado tener propiedades de transmisión en la región infrarroja superiores a las de silicatos tradicionales.

TABLA IV

Algunos vidrios sin silicato



3.4.- PROPIEDADES

Las propiedades del vidrio pueden ser divididas de acuerdo a la importancia del uso del producto, su manufactura, y su procesado secundario, o ya sea por el primer procesador o intermediario.

3.4.1.- Densidad

Una botella ordinaria y un vidrio de ventana poseen una densidad (en gr. por cc.) de aproximadamente 2.5 (ligeramente menor que la del de aluminio). El vidrio utilizado en vajillas tiene una densidad entre 3.0 y 4.0. Algunos vidrios ópticos tienen más arriba de 7.0. El vidrio más ligero con 2.2 es el de silicio fundido. El vidrio burbuja, un producto de aislamiento de vidrio sólido lleno con burbujas de aire, tiene una densidad de 0.15. La fibra de vidrio, en forma de lana aislante, posee un amplio rango de densidades desde 1.5 libras por pie cúbico en adelante.

3.4.2.- Dureza

El vidrio a veces puede rasgar el acero. Pruebas de indentación muestran que el vidrio es generalmente más suave que una gema de cuarzo, y más duro que la familia limestone. Los vidrios de plomo son mas fácilmente cortados y pulidos que los vidrios de la familia soda-lime-silica. Las proporciones son (de

suave a duro) : vidrio de plomo-potasio-silicio, vidrio de bulbo de bajo plomo, vidrio borosilicato, vidrio soda-lime-silicio, vidrio de aluminosilicato, y silicio fundido.

3.4.3.- Resistencia mecánica

El vidrio como material es muy fuerte, en forma de fibra su resistencia a la tracción se extiende desde unas pocas libras por pulgada cuadrada (de una fibra de gran diámetro) a más de 400,000 psi para fibras más finas.

Las mediciones de piezas de la mayoría del vidrio poseen una resistencia en tensión en el rango de unos pocos miles de psi hasta 20 0 30 mil. Estos valores son disminuidos al rasgar la superficie. De hecho, una aseveración muy común es que la resistencia mecánica del vidrio es la debilidad de su superficie. Los rasguños le dan una alta concentración de esfuerzos. Con el sand blast (arena a alta presión contra la superficie) decrece la resistencia tensil hasta 2,000 psi.

El vidrio solo falla en tensión. Bajo compresión las resistencias medidas son de 90,000 a 180,000 psi, pero tal prueba de compresión resulta en una tensión localizada. La falla al corte es interpretada como una falla de tensión. El diseño ingenieril debe ser encaminado por mediciones ingenieriles de resistencia y factores de seguridad necesarios. En un producto específico la geometría o la arquitectura controlan de manera significativa la resistencia mecánica.

Existen muchos tratamientos superficiales que mejorarán la resistencia del vidrio. Un simple grabado puede incrementar la resistencia a más de 100,000 psi.

Los altos valores pueden durar poco tiempo debido a la contaminación ambiental la cual causará una pérdida de propiedades muy rápida. La protección a las fibras de vidrio se les proporciona por medio de tratamientos superficiales después de que han sido formadas. La resistencia de éstas es evidente en las cañas para pescar, donde las fibras están orientadas a lo largo de la caña y están protegidas por plástico.

Los diferentes procesos de formado tienen un efecto en la resistencia mecánica. Las superficies interiores de las botellas, formadas solo por el contacto con el soplo de aire, poseen más alta resistencia mecánica. Las superficies comprimidas contra los moldes de hierro frío tendrán mucho menos resistencia.

3.4.4.- Fatiga

La fatiga representa el decremento en la resistencia mecánica bajo cargas. Un impacto de .0001 segundos de duración, pero en repetidas ocasiones puede causar un esfuerzo como si la carga hubiese sido mantenida por quince días. Para las cerámicas y los vidrios, el fenómeno de fatiga se observa sin ser sometidos a cargas cíclicas. La razón es que está involucrado un mecanismo químico en lugar de uno mecánico. Podemos hacer dos observaciones importantes acerca de este fenómeno: Se presenta en ambientes que contienen agua y se presenta alrededor de la temperatura ambiente. El agua al reaccionar químicamente con la red de silicato forma dos unidades de Si-OH a partir de la molécula de H₂O. Las unidades de oxhidrilo no están enlazadas una con la otra, dejando una ruptura en la red de silicato. Cuando ocurre esta reacción en la punta de una grieta de superficie, la grieta se prolonga un paso en la escala atómica. Debido a la naturaleza química del mecanismo en las cerámicas y los vidrios, el fenómeno se encuentra sobre todo alrededor de la temperatura ambiente. A temperaturas relativamente altas, arriba de 150°C, la reacción de oxhidrilo es tan rápida que se dificulta el

monitoreo de los efectos. A esas temperaturas, también pueden contribuir otros factores como la deformación viscosa. A bajas temperaturas, por debajo de 10°C, la rapidez de la reacción del oxhidrilo es demasiado baja para producir un efecto significativo en periodos de tiempo prácticos.

3.4.5.- Elasticidad

El vidrio es verdaderamente un material elástico, mostrando una relación lineal entre esfuerzo y deformación hasta el punto de falla. El módulo de elasticidad en tensión (E) para el vidrio soda-lime-silica es aproximadamente 10,000,000 psi, comparado con el acero que es de 30,000,000 y con los plásticos que tienen alrededor de 2,500,000 (pero los plásticos varían en un rango muy amplio). En otras palabras, el vidrio se deforma tres veces más que el acero bajo la misma carga. Éste se recupera de toda su deformación después de liberarlo de la carga. Los vidrios especiales tienen módulos más grandes o más pequeños; pero el cambio no es radical.

3.4.6.- Calor específico

El calor específico de los vidrios a temperatura ambiente es de 0.17 a 0.20 calorías por gramo por °C. Éste es más grande que el de los metales comunes y más bajo que el de los plásticos comunes.

3.4.7.- Conductividad Térmica

El vidrio es un pobre conductor del calor a temperatura ambiente. El rango de valores es de 0.002 a 0.003 cal. por cc. por segundo por °C, más alto que el de los plásticos y el hule, pero mucho menor que el de los metales ordinarios. La conductividad térmica se incrementa con la temperatura. Las mediciones indican que el calentamiento por radiación se lleva a cabo en el material a temperaturas arriba de 427°C. La separación de los dos mecanismos

es importante desde un punto de vista de manufactura donde las temperaturas del vidrio varían desde 1204°C hasta 816°C.

3.4.8.- Reflexión

La pérdida de la reflexión de una superficie pulida es de cerca del 4% de la luz incidente para el vidrio con índice de refracción de 1.5 hasta 10% para vidrios con índice de refracción de aproximadamente 1.9. Una superficie difusa, tal como una blanqueada o sanblasteadada, no se puede ver a través de ella. Una superficie de hoja de vidrio puede ser diseñada para controlar la visión o la luz. La presencia de finas partículas en el vidrio la proporciona diferentes grados de opacidad, color y visión. El control de la luz es una de las funciones más importantes en la instalación del vidrio.

3.4.9.- Color en el Vidrio

El color es usualmente dependiente de los iones colorantes. Los iones colorantes comunes son cromo, hierro, níquel, cobalto, cobre, oro, manganeso, etc., los cuales pueden estar presentes en más de un estado de oxidación, o en su estado base. En algunos casos, notablemente en el oro y el cobre, el metal es encontrado en pequeñas partículas dando color sin difusión. Si la temperatura del tratamiento no es la correcta, las partículas de oro crecerán en tamaño, cambiando el color y la opacidad.

Los colores verdes son hechos de óxido de cromo, azules de óxido de cobalto, amarillos de uranio, cafés de níquel, ámbar de carbon-sulfuro de hierro, morados de manganeso, etc.

Los vidrios opacos están hechos con adiciones de fluoruros los cuales cristalizan sobre el congelamiento. Este proceso, llamado flashing, involucra colocar artículos parcialmente enfriados a una flama delgada, recalentando así

secciones delgadas, secciones protuberantes, o bordes afilados. Los óxidos blancos opacadores tales como el estaño y el titanio producen vidrios blancos.

3.4.10.- Expansión Térmica:

La expansión térmica es una propiedad de mucha importancia para el fabricante de vidrio, en el de proceso de transformación y para el usuario. El valor específico de expansión depende del rango de temperatura. Comúnmente, los valores de expansión se dan en una base del rango de 0° a 300°C. Una botella de vidrio puede tener una expansión de $89 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ en cambio de temperatura, mientras que los platos de horno muestran $33 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$.

Las tres porciones de la curva de expansión térmica son: la región sólida elástica de temperatura ambiente hasta el rango de transformación; la región líquida o fluida típica de altas temperaturas; la región de transformación que conecta a las dos precedentes. La rapidez de expansión en la región líquida es de dos a cuatro o cinco veces la de la región elástica. La región de transformación se gradúa entre estas dos. El punto donde la rapidez de cambio entre las dos toma el máximo valor es conocido como el punto de transformación.

3.4.11.- Resistencia Térmica

La baja expansión térmica en el rango de sólido elástico le proporciona una gran resistencia térmica. Los platos de borosilicato para hornear pan (expansión $33 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$) resisten de dos a dos y medio veces el choque térmico (caliente a frío) que los vidrios de soda-lime silica (expansión $90 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$). Otros factores tales como el espesor del vidrio, la condición de la superficie, la forma y el diseño del artículo así como su resistencia mecánica del diseño son de importancia.

3.4.12.- Viscosidad:

La viscosidad es una propiedad relacionada con el flujo de líquido. Es de importancia en el fundido, formado y procesamiento asociado del vidrio líquido. No posee importancia en el uso del vidrio a temperatura ambiente. Ciertos pasos del procesado son con frecuencia asociados directamente con la viscosidad (la resistencia al flujo). La fusión se lleva a cabo a altas temperaturas donde la reacción, el mezclado o la homogeneización, y la liberación de burbujas ocurre a una velocidad razonablemente rápida. Más que en todos los procesos en el vidrio se le puede relacionar precisamente o muy cercanamente a la viscosidad. Las mediciones del logaritmo de la viscosidad van desde 1 a 15.

La Figura 3.3 muestra el logaritmo de la viscosidad contra temperatura para vidrios de sílice fundida, alta sílice, borosilicato, soda-lime. En la escala de la viscosidad existen muchos puntos específicos que son importantes en la fabricación y en el procesamiento de los vidrios, los cuales son:

El *punto de fusión*, el cual corresponde a la temperatura a la cual la viscosidad es de 10 Pa-s (100 P); el vidrio es lo suficientemente fluido para ser considerado un líquido.

El *punto de trabajo*, representa la temperatura a la cual la viscosidad es de 10^3 Pa-s (10^4 P); el vidrio es deformado fácilmente a ésta viscosidad.

El *punto de reblandecimiento*, es la temperatura a la cual la viscosidad es de 4×10^6 Pa-s (4×10^7 P), es la máxima temperatura a la cual una pieza de vidrio puede ser manejada sin causar alteraciones dimensionales significantes.

El *punto de recocido* es la temperatura a la cual la viscosidad es de 10^{12} Pa-s (10^{13} P); a esta temperatura, la difusión es suficientemente rápida que cualquier esfuerzo residual puede ser removido en 15 min aproximadamente.

El *punto de endurecimiento* corresponde a la temperatura a la cual la viscosidad es de 3×10^{13} Pa-s (3×10^{14} P); para temperaturas abajo del punto de endurecimiento, la fractura ocurrirá antes de empezar la deformación plástica. La temperatura de transición vítrea se dará por encima del punto de endurecimiento.

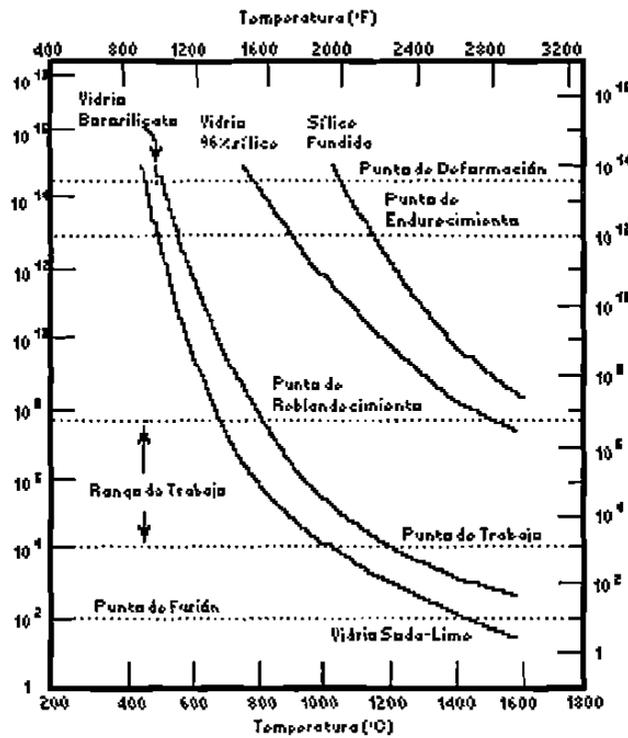


Figura 3.3.- Logaritmo de la viscosidad contra temperatura para vidrios de sílice fundida y varios tipos de vidrios. [7]

CAPÍTULO 4

CONTENEDORES DE VIDRIO Y SU MANUFACTURA

4.1.- INTRODUCCIÓN

Los contenedores de vidrio son utilizados para empaque y almacenaje de una amplia variedad de alimentos, bebidas, productos químicos, farmacéuticos, y cosméticos. Esto implica que se lleven a cabo estudios acerca de las técnicas utilizadas para su fabricación, los tipos de vidrios utilizados para contenedores, los requerimientos de diseño y esfuerzo, sus tratamientos superficiales, y requerimientos de calidad. Para complemento de este trabajo solamente se explicarán en forma general los tipos de vidrio más comunes y los requerimientos para el diseño de los contenedores, sin olvidarnos por supuesto de la forma en que son fabricados en la actualidad [8].

4.2.- COMPOSICIONES Y COLORES UTILIZADOS PARA ENVASES DE VIDRIO

Las dos composiciones básicas utilizadas para contenedores de vidrio son el vidrio soda-lime y el vidrio borosilicato. El vidrio soda-lime es utilizado en la mayoría de los contenedores comunes.

Las composiciones y propiedades típicas de los contenedores fabricados con vidrio soda-lime y borosilicato se enlistan en la Tabla V. Debido a las altas temperaturas de fusión requeridas para el vidrio borosilicato, éste es mucho más caro que el vidrio soda-lime. Este tipo de vidrio es utilizado principalmente para contenedores que requieren gran durabilidad química.

Los contenedores de vidrio producidos en masa están disponibles en un limitado rango de colores, esto es debido principalmente a limitaciones impuestas para mantener los costos bajos y competitivos.

Los colores en los cuales los envases de vidrio están disponibles son el pedernal, ámbar , y verde esmeralda. Las materias primas seleccionadas para la producción de envases claros poseen especificaciones de minimizar las concentraciones de colorantes tales como los óxidos de metales de transición.

Tabla V.- Composiciones y propiedades de envases de vidrio

	Soda lime	Borosilicato
Composición (% peso)		
SiO ₂	70.0 - 74.0	80.5
Na ₂ O + K ₂ O	13.0 - 16.0	3.8
		0.4
CaO + MgO	10.0 - 13.0
	
BaO	0 - 0.5
B ₂ O ₃	12.9
Al ₂ O ₃	1.5 - 2.5	2.2
Propiedades		
Punto de Homogenización, °C	548	565
Coeficiente de Expansión Térmica de 0 a 300 °C	9 x 10 ⁻⁶ /°C	3 x 10 ⁻⁶ /°C

Los niveles de óxido de hierro, en particular, se mantienen bajos para minimizar los tintes verdes o azules en el vidrio transparente. El vidrio ámbar es coloreado con más altas concentraciones de hierro y azufre. El color ámbar es diseñado para cumplir y exceder los requerimientos de the United States Pharmacopeia (USP) para la absorción de luz ultravioleta. El ámbar es el color seleccionado para productos farmacéuticos y alimentos que son sensibles a la luz ultravioleta. El vidrio verde es producido con colorantes de óxido de hierro y óxido de cromo. *El vidrio verde se escoge generalmente por razones estéticas, por ejemplo, con líquidos amarillos o transparentes.*

Los envases de vidrio a gran escala son fabricados en una variedad de colores tales como el verde Georgia (tal como las botellas retornables de Coca-Cola) y el verde de las botellas de vino. Aún cantidades más limitadas de colores especiales, incluyendo el ópalo (blanco), son producidos para ser utilizados en artículos cosméticos y para fines puramente estéticos.

4.3.- DISEÑO Y FORMA DE LOS ENVASES

4.3.1.- Partes de un Envase

Ilustraciones de envases comunes se muestran en la Figura 4.1 con las partes de los contenedores identificadas. La parte superior del envase a la cual se le coloca la tapa es el terminado del envase (pico).

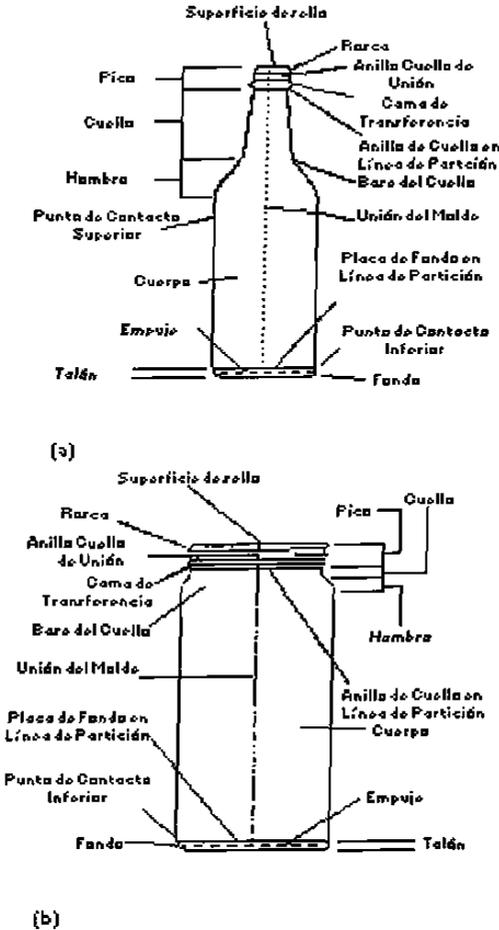


Figura 4.1.- Identificación de partes para (a) Botella de cuello delgado y (b) De boca amplia.

Otras partes del envase incluyen el cuello, el hombro, el cuerpo, el talón, y el fondo. Los puntos de contacto superior e inferior también se muestran en la Fig 4.1(a). Los puntos de contacto son aquellos donde dos botellas del mismo diseño estarán en contacto cuando se coloque una al lado de la otra, por ejemplo, cuando se colocan en las líneas de llenado.

4.3.2.- Consideraciones de Diseño

El diseño de un envase de vidrio se basa en una variedad de requerimientos funcionales incluyendo:

- Manufacturabilidad
- Condiciones de manejo, llenado y procesamiento.
- Estética y tradición

El dibujo para un diseño de una botella contenedora de almíbar se presenta en la Figura 4.2. El diseño de esta botella es adecuado para su manufactura debido a que posee proporciones dentro del rango del equipo de manufactura. Entre más se acerque el diseño de la botella a la forma de una lámpara incandescente, más adecuada es para su manufactura. Entre más abajo tenga su centro de gravedad, más resistencia proporcionará a ladearse, lo cual es un problema de manejo en manufactura. Esta botella no posee el mismo diámetro en sus puntos de contacto superior e inferior, esta característica de diseño será una desventaja para el manejo a alta velocidad en las líneas de llenado.

Éste envase de almíbar posee un terminado ancho para un llenado rápido. Éste es redondo y rotará en una línea de llenado para minimizar los golpes contra otros envases. La botella está diseñada para resistir el choque

térmico del llenado caliente, pero no está optimizado para resistencia al impacto o a la presión.

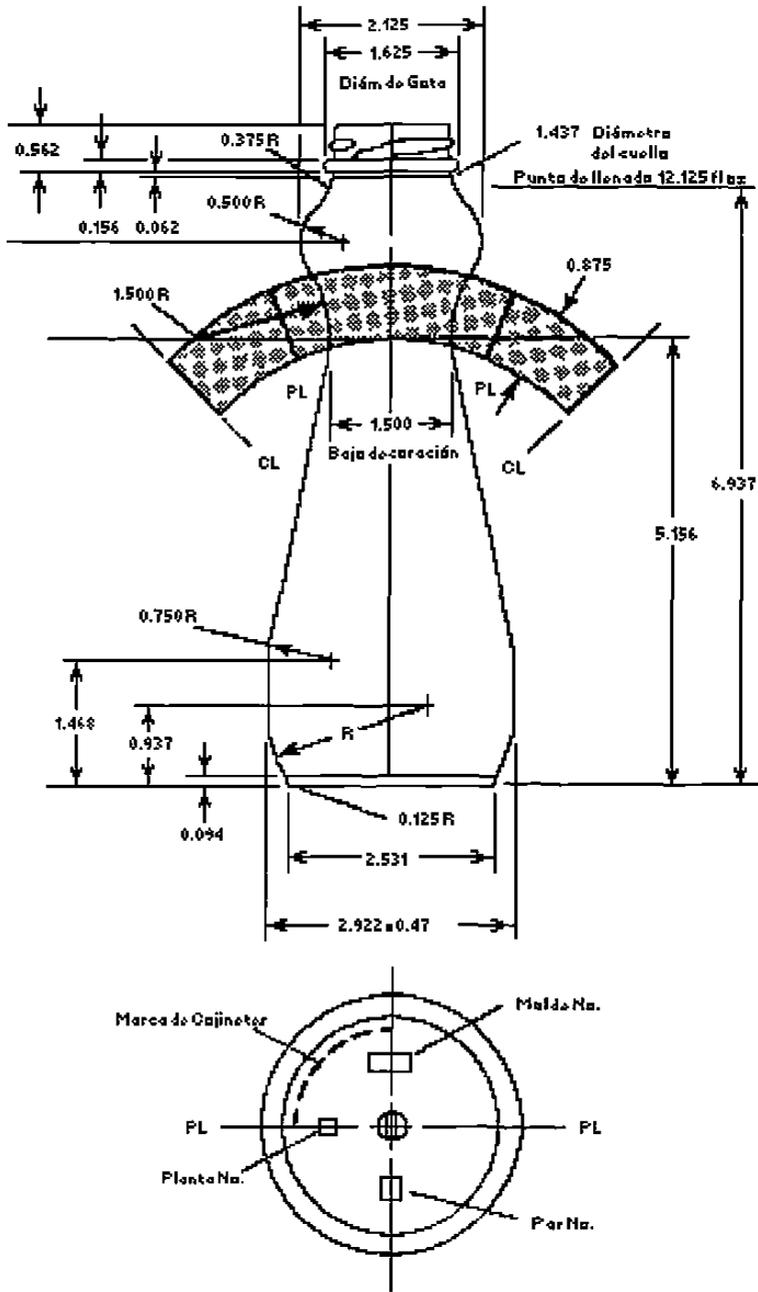


Figura 4.2.- Ingeniería de Diseño para un envase de almíbar. La parte inferior muestra marcas de identificación del fabricante localizadas en la base del contenedor

La forma total del contenedor ha seguido tradición y estética. Esta posee una forma la cual es familiar para los consumidores como una botella de comida líquida. Un diseño muy lejano a esta forma arriesgaría una pérdida en el mercado.

4.3.3.- Diseños de Terminaciones (Picos)

Un diseño detallado y las limitaciones para diseñar dimensiones es lo más crítico en el terminado de una botella. Las terminaciones son diseñadas para ajustarse a ciertas formas de tapas, las que pueden variar desde un simple acabado de corona para tapas de metal adheridas, hasta terminaciones complicadas para tapas con sello de inviolabilidad. Los dos objetivos más importantes en el diseño de una terminación y su tapa son: (1) mantenimiento de la integridad del sello a través de todo el proceso y de los pasos de distribución después del sellado, y (2) fácil de remover por el usuario. La facilidad de remoción es medida a partir del torque necesario para rotar la tapa.

La Figura 4.3 es una generalización de un diseño de una terminación la cual muestra las letras asignadas para las medidas comunes de la terminación. La Figura 4.4 presenta los diseños de terminaciones más comunes.

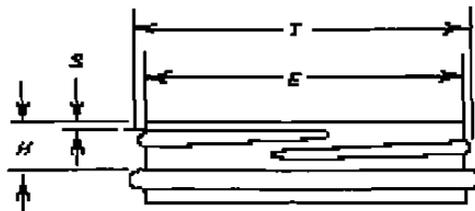


Figura 4.3.- Diseño de un tipo de pico, mostrando sus dimensiones. T, diámetro del hilado; E, diámetro de la pared; H, intersección de T con la cama del hombro; y S, inicio de la rosca.

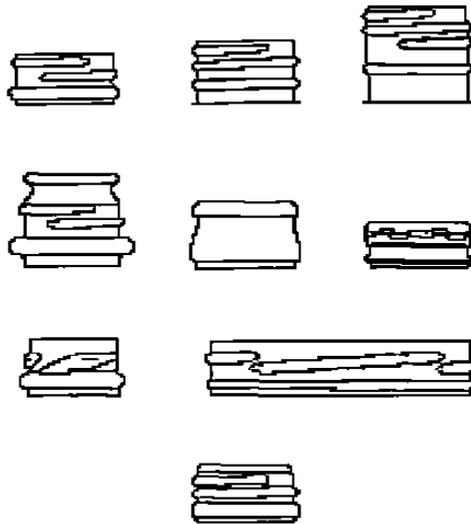


Figura 4.4.- Diseños comunes de picos para contenedores de vidrio.

4.4 .- MANUFACTURA DE CONTENEDORES DE VIDRIO

Durante la producción de envases de vidrio, existen varias secciones del proceso que aportan ciertas características al producto terminado. Desde el horno que aporta características al vidrio dependiendo de la forma en que se lleve a cabo su fundición, pasando por el canal transportador del cual la homogeneización obtenida en el vidrio afectará también al envase, hasta la descarga en la cual se determina la velocidad de la producción, el tamaño y la forma final de la vela.

La descarga de vidrio tradicionalmente consta de cuatro componentes: pistón, cilindro móvil, chorreador y cuchillas (Figura 4.5) [9]. Por lo que la eficiencia de sus componentes afectará directamente a los envases producidos, es decir, si por alguna causa las cuchillas fallaran perdiendo su filo, por mencionar alguna falla, las velas producidas no tendrían la misma calidad que las producidas con las cuchillas bien afiladas.

El estudio realizado en esta investigación se concentró en la eficientización de la parte última de la descarga, el chorreador, ya que es donde prácticamente se lleva a cabo la formación de la vela y de cuyo cambio depende la eficiencia de cambio de producto.

4.4.1 Descarga de Vidrio

Los alimentadores de "velas" (descarga de vidrio) son dispositivos que suministran trozos de vidrio preformados de un peso específico a moldes para las operaciones de prensado o soplado. Se les denomina "velas" porque tienen forma cilíndrica y el tamaño aproximado de una vela.

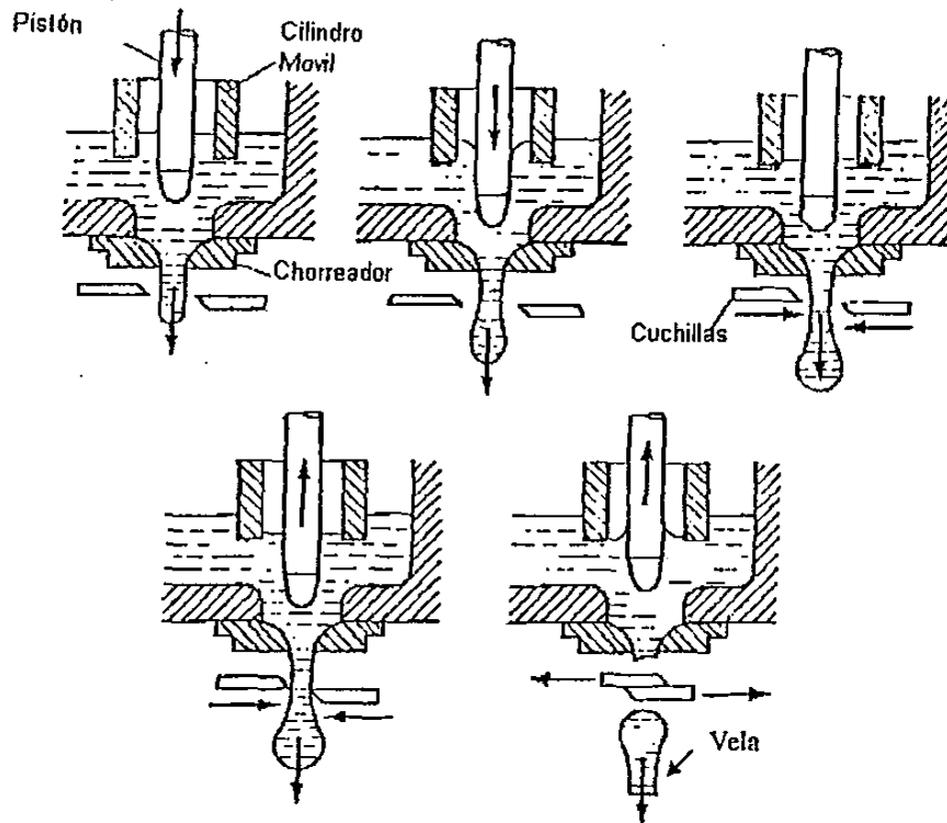


Figura 4.5.- Esquema ilustrativo del sistema de descarga de vidrio en la producción de envases

El chorreador limita el flujo de vidrio en virtud del diámetro de su orificio. Un control adicional de flujo de vidrio se logra ajustando el mecanismo que controla la altura del cilindro móvil. Algunos alimentadores rotan el cilindro para incrementar la homogeneidad térmica y física del vidrio. Otras formas de modificar el tamaño de la vela son mediante la variación de la rapidez de corte de las cuchillas y/o cambiando la carrera del pistón.

4.4.2- Producción Automática de Contenedores

4.4.2.a. Proceso soplo-soplo

Una vez que la vela ha sido formada en la parte de la descarga, es entonces arrojada al molde de preforma por medio de una canaleta. Una cabeza de soplado sella la parte superior del molde y provee un soplado de asentamiento, con esto, la vela baja al fondo del molde, donde es invertida de posición, de esta manera se forma la parte superior de la botella (el pico). Entonces del fondo un soplo en sentido inverso es introducido en el centro de la vela, lo cual crea la parte interna de la botella. El molde de la preforma se abre y un brazo mueve la preforma 180° y lo coloca en un segundo molde de soplado para completar la botella. debido a que el exterior de la vela fue enfriado durante su contacto con el primer molde, se hace una pequeña pausa en el proceso de formado que permite a la superficie del vidrio recalentarse. Después del recalentamiento, una segunda cantidad de aire se introduce para dar a la botella su forma final. Finalmente un mecanismo levanta el envase fuera del molde y lo coloca en el transportador. En la Figura 4.6 se muestra un esquema de la manufactura de contenedores.

4.4.2.b.- Proceso prensa-soplo

Éste proceso puede ser utilizado para contenedores de boca ancha (pico ancho) y algunos de los nuevos contenedores ligeros de bebidas. Este proceso, el cual posee un gran control sobre la uniformidad del espesor de pared, utiliza un pistón en lugar de un soplador para comprimir la preforma. Después de que la preforma es formada, se voltea y la forma final se produce usando el proceso estándar de soplado (Figura 4.6).

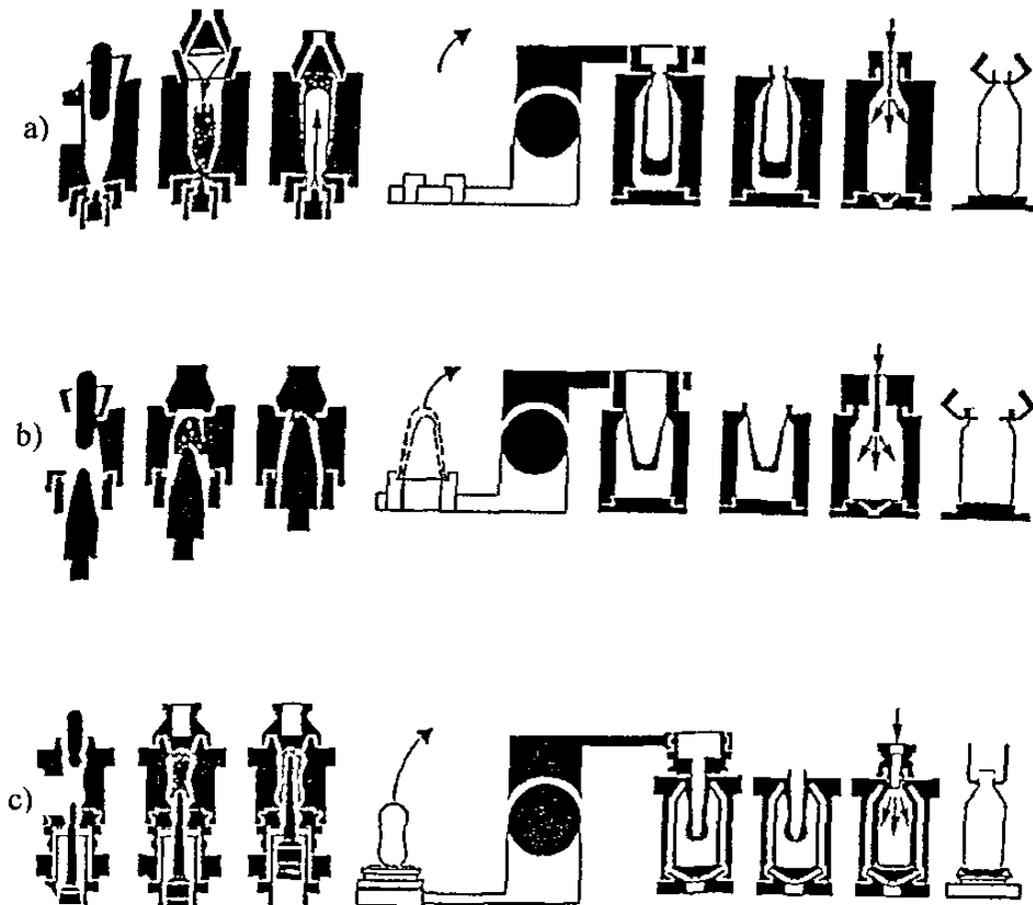


Figura 4.6.- Manufactura automática de contenedores. (a) Soplado. (b) Prensa-soplo para envases de boca ancha (pico). (c) Prensa-soplo para envases de cuello angosto

4.5 .- SISTEMA ACTUAL DE DESCARGA

El sistema actual de alimentación de vidrio (Figura 4.7) posee diversas limitaciones en cuanto a producción, ya que periódicamente es necesario cambiar el chorreador, esto implica detener el proceso de descarga de vidrio.

Esta interrupción provoca perturbaciones en los perfiles térmicos presentes en el vidrio que se encuentra en la noria esperando a ser descargado. Cuando se reanuda la descarga éstas perturbaciones alteran las características del vidrio por lo que es necesario esperar a que los perfiles térmicos sean recuperados antes de poder producir envases con la calidad requerida.

El cambio de chorreador puede llegar a tomar hasta 15 o 20 minutos, lo cual es suficiente para crear grandes variaciones térmicas dentro del canal de descarga (noria, bushing, cilindro-tapón, pistón) por lo tanto puede llegar a tomar varias horas. Todo este intervalo es tiempo improductivo lo cual implica un costo intrínseco en el proceso. Por lo anterior cualquier mejora en el proceso de cambio de chorreador, repercutirá en una reducción del tiempo de recuperación de los perfiles térmicos de la noria y por lo tanto en una reducción en los tiempos improductivos de las máquinas.

El tiempo de cambio del chorreador se ha estado reduciendo cada día más, sin embargo se estima que con el diseño actual, ya se ha llegado al límite del tiempo más corto.

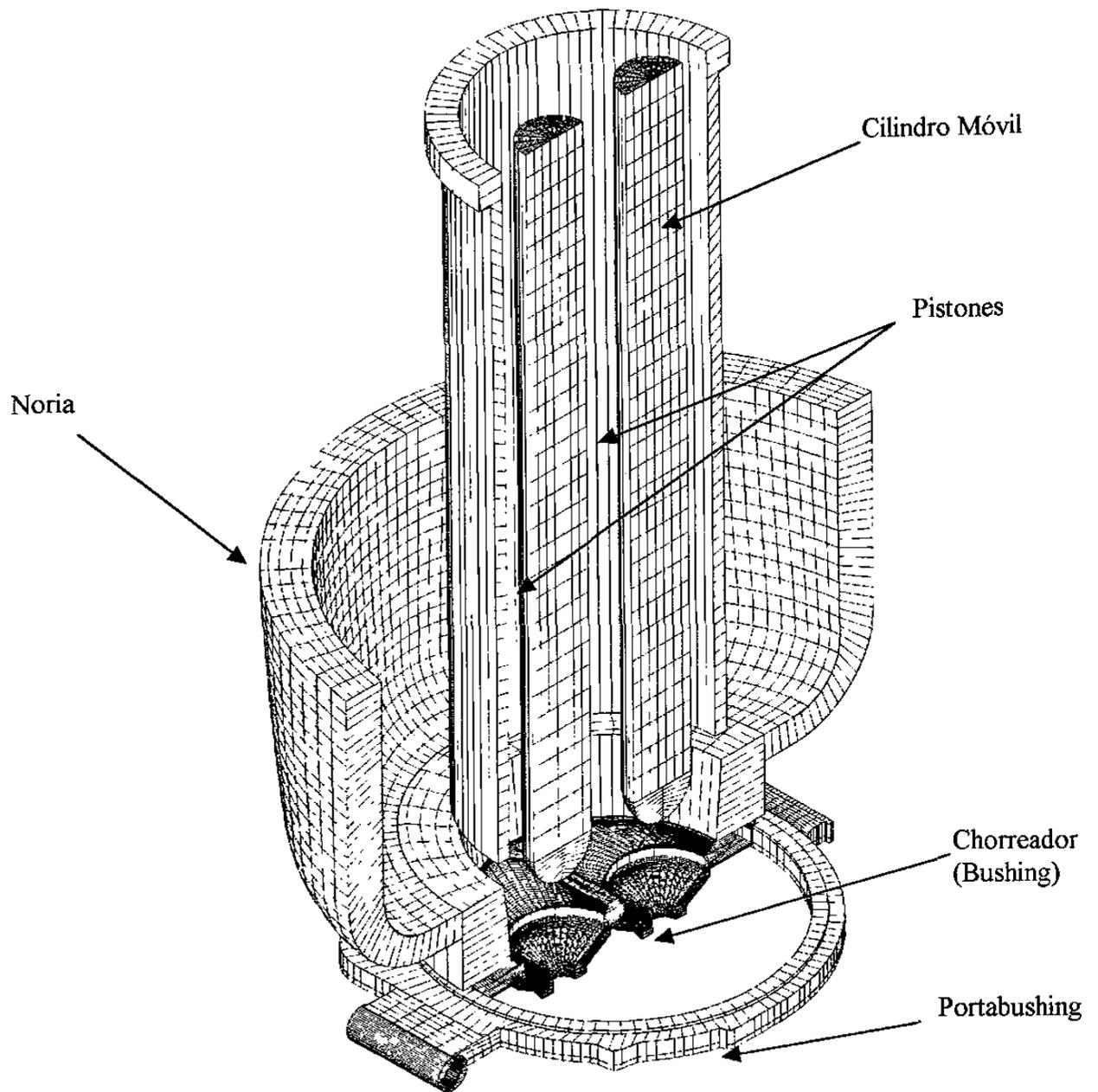


Figura 4.7.- Sistema actual de descarga de vidrio

4.6.- REDISEÑO DEL SISTEMA ACTUAL DE DESCARGA

Para llevar a cabo la reingeniería del chorreador fué necesario estudiar el comportamiento del vidrio al pasar a través de este dispositivo, es decir, al comprender el comportamiento del vidrio se pueden llevar a cabo diseños de nuevos chorreadores para cada tipo de envase. La base para los cálculos matemáticos se llevó a cabo ajustando la forma actual a una geometría regular para llevar a cabo los primeros cálculos de aproximación

Una vez obtenidos los cálculos matemáticos y sabiendo que tipo de geometría sería la más conveniente, se procedió a desarrollar un diseño de cambio rápido de chorreador el cual se ajustó a los siguientes criterios

- a) No debe de interferir con los aditamentos o componentes que no van a ser rediseñados.

- b) La forma geométrica se decidió cónica debido a las necesidades de la operación, es decir, a la salida necesariamente debería ser circular por la forma de la vela, para esto era necesario una reducción en la alimentación (desde la noria) hasta la salida (en el bushing), por lo que la forma más adecuada para llevar a cabo esta reducción era la cónica, además de que facilitaba los cálculos matemáticos.

- c) Mantener los parámetros de operación y si es posible mejorarlos, dentro de los límites operacionales del conjunto de partes de las máquinas.

El estudio del comportamiento del vidrio se desarrolla en el capítulo 5.

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DEL MODELO

5.1.- INTRODUCCIÓN

Para poder llevar a cabo los cálculos que gobiernan a nuestro sistema se estudió el comportamiento normal del mismo, es decir, se obtuvieron datos reales sobre la cantidad de vidrio necesaria para los diferentes envases, lo cual se obtiene fijando los siguientes parámetros de producción: diámetro de salida en el bushing, altura y rapidez de corte de las cuchillas, presión de los pistones, altura de la columna de vidrio, temperatura del vidrio, composición, entre otros parámetros. Si se desea cambiar de producto es necesario cambiar el diámetro de salida del bushing para proporcionar la cantidad de vidrio requerido por los diferentes productos.

El objetivo de nuestros cálculos matemáticos es evaluar las presiones generadas por la geometría cónica y determinar los diámetros de salida para los diferentes ángulos de caída (K) de los nuevos chorreadores que aseguren la descarga de vidrio requerida para cumplir con los estándares de producción para diferentes productos, después de llevar a cabo esto, aplicarlo a un diseño que pueda ser intercambiado con mayor rapidez.

Para alcanzar este objetivo se determinará el comportamiento del vidrio durante su descarga, desde que está en la columna en el interior de la noria, hasta su salida a través del nuevo chorreador (bushing).

5.2.- DESARROLLO DEL MODELO

Para calcular las dimensiones de la geometría cónica propuesta, se estudió el comportamiento del vidrio bajo ciertas condiciones de temperatura y presión. Para ilustrar el modelo descrito se muestran las variables utilizadas en la Figura 5.1.

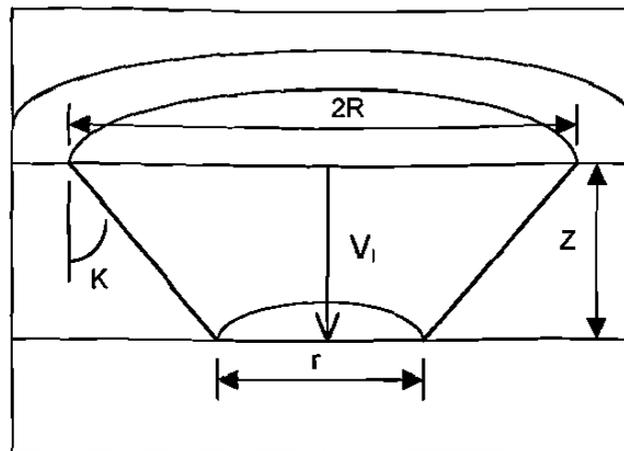


Figura 5.1.- Sección de la geometría cónica, la cual muestra las variables utilizadas en el cálculo desarrollado

Como el vidrio a la temperatura de trabajo es un fluido viscoso se analizó como tal, pero bajo las condiciones restrictivas geométricas ya referidas, las cuales se explicarán a detalle cuando se vea el análisis matemático que rige al diseño de cada tipo de cono, por ahora nos limitaremos a explicar las fórmulas que rigen el comportamiento del vidrio en éstas condiciones [10].

Presión Generada por la Geometría Cónica:

$$\frac{P_0 - P}{4\mu \frac{v_1}{R}} = \frac{1}{3K} \left[\frac{1}{(1 - K\zeta)^3} - 1 \right]$$

Donde:

$P_0 - P$ = Presión Manométrica (Pa)

μ = Viscosidad (Pa-s)

v_1 = Velocidad Máxima (m/s)

R = Radio Inicial (Entrada del Cono) (m)

K = Pendiente de la Pared Cónica

ζ = Z/R , Relación de Profundidad Respecto al Radio Inicial

Velocidad a través de la geometría:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{1}{(1 - K\zeta)^2} - \frac{\xi}{(1 - K\zeta)^4}$$

Donde:

v = Velocidad en cualquier punto de la geometría cónica

v_1 = Velocidad máxima

K = Pendiente de la pared del cono

ζ = Z/R (Relación de Profundidad respecto al Radio Inicial)

ξ = r/R (Relación del Espesor de la Geometría respecto al Radio Inicial)

Para nuestro análisis, el segundo término de la ecuación se consideró cero ya que el estudio de velocidad se realizó en el centro de la geometría donde $r=0$.

El Flujo Volumétrico se define como:

$$Q = VA$$

De donde

$$V = Q/A,$$

por lo que

$$\underline{V = Q/\pi R^2}$$

Sustituyendo el valor de V_1 en las ecuaciones anteriores tenemos:

a) Para la Velocidad:

$$v = v_1 \left[\frac{1}{(1 - K\zeta)^2} \right]$$

$$v = \frac{Q}{\pi R^2} \left[\frac{1}{(1 - K\zeta)^2} \right]$$

b) Para la Presión:

$$P_0 - P = \frac{4\mu v_1}{3RK} \left[\frac{1}{(1 - K\zeta)^3} - 1 \right]$$

$$P_0 - P = \frac{4\mu}{3RK} \frac{Q}{\pi R^2} \left[\frac{1}{(1 - K\zeta)^3} - 1 \right]$$

$$P_0 - P = \frac{4\mu Q}{3\pi R^3 K} \left[\frac{1}{(1 - K\zeta)^3} - 1 \right]$$

Estas dos ecuaciones son las que rigen el comportamiento del fluido en la geometría cónica. Las dimensiones de las geometrías se calcularon para un determinado gasto y un determinado envase. Las condiciones de operación utilizadas fueron las reales, de tal forma que fuese posible reproducir la operación real con ésta geometría.

El Flujo Volumétrico, Q (m^3/seg), está en función del tipo de artículo a fabricar y de la velocidad de producción, por lo que:

$$Q = (m \cdot \text{cortes}/\text{min}) / (60 \cdot \rho)$$

Donde:

m = masa del producto a fabricar (kg)

Cortes/min = rapidez de producción

ρ = densidad del vidrio a la temperatura de operación (kg/m^3)

Además este mismo flujo debe de cumplir las restricciones geométricas impuestas por lo que:

$$Q_T = \pi D^2 / 4 \cdot V_s \cdot \rho \cdot 2$$

Donde:

Q_T = en este caso es Flujo Másico

D = diámetro de salida del cono (m)

V_s = velocidad de salida en el centro del orificio cónico (m/s)

ρ = densidad del vidrio a la temperatura de operación (kg/m^3)

2 = este valor se debe principalmente al hecho de que en este caso en particular tenemos una doble cavidad a la salida del bushing

El diámetro de salida depende del ángulo de apertura del cono. Asumiendo que la pendiente es lineal, tendremos que la variación del diámetro estará dado por:

$$D=(R-KZ)*2$$

Donde:

R= radio a la entrada del cono

K= pendiente del cono analizado

Z= profundidad del cono analizado

El radio R constante a la entrada del cono permite que éste último ensamble con el resto del sistema (bushing), y así pueda ser utilizado para una variedad de productos, de acuerdo a la cantidad de material que sea necesario hacer pasar a través de la geometría y al tiempo deseado para realizar lo anterior.

El análisis de flujo realizado, y resumido en el conjunto de ecuaciones anteriormente descritas, es válido para un sistema en una dimensión e isotérmico, es decir, sin considerar la transferencia de calor a través del vidrio y las paredes del cono.

5.2.1.- Desarrollo del modelo para condiciones de operación específicas y para un producto determinado

Los cálculos se realizaron para la producción de envases de 355 ml, cuyas condiciones normales de operación son las siguientes:

masa= 0.454 kg por cada envase

cortes/min= 70

T= 1097°C

Diámetro de salida del bushing = 2.25 pulg

5.2.1.1.- Condiciones de Presión

Además de estas condiciones preestablecidas es necesario determinar la presión bajo la cual el vidrio fluye a través del bushing; se consideró que ésta presión equivale a la presión hidrostática que ejerce el vidrio que se encuentra en la noria encima del bushing, por lo que se calculó como:

$$P=\rho gh$$

Donde.

ρ = densidad del vidrio (se obtuvo su fórmula para un rango de valores por medio de una regresión)

g = aceleración de la gravedad= 9.8 m/s^2

h = altura del vidrio dentro de la noria= 6 pulg= 0.1524m

El procedimiento seguido para evaluar las dimensiones de la geometría que cumpliera con las condiciones predeterminadas consistió en:

- 1) Calcular la caída de presión generada por el flujo de vidrio cuando pasa a través de la geometría cónica
- 2) Calcular la caída de presión generada por la columna de vidrio
- 3) Comparar el resultado obtenido en el punto 2 respecto al punto 1, si son iguales tendremos la dimensión deseada

Una vez que se aseguraba que las presiones fueran iguales, se tomaba la rapidez de salida calculada, y se utilizaba para comprobar por medio de la ley de continuidad el hecho de que se estuviese cumpliendo la producción que estábamos esperando a una cierta rapidez y con un cierto diámetro de salida.

Para poder desarrollar ésta lógica se desarrolló un programa en Pascal, cuyo principio básico se describe en el siguiente diagrama de bloques.

5.2.1.2.- Diagrama de Bloques Básico

La Figura 5.2 muestra la lógica seguida para determinar las dimensiones de la geometría del sistema supuesto.

Recordando que tenemos los siguientes datos:

- a) Gasto, es decir, masa de la botella combinada con los cortes por minuto
- b) Propiedades del material en función de la Temperatura
- c) Radio predeterminado
- d) Pendiente supuesta

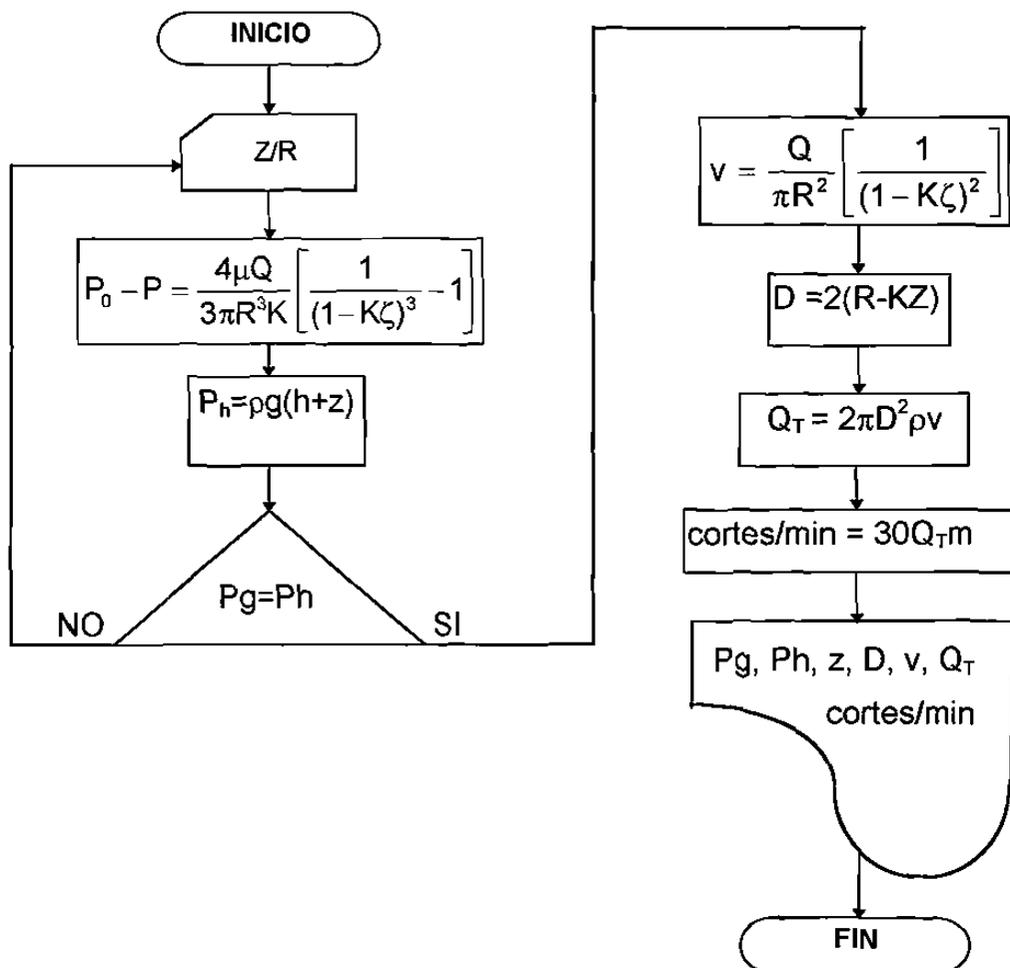


Figura 5.2.- Diagrama de Flujo que muestra la secuencia lógica del cálculo de la geometría

5.2.1.3.- Consideraciones generales y lógica implementada en el programa

Como ya se había mencionado anteriormente, para un producto determinado el radio a la entrada del cono se mantiene y para este caso iguala 4.445 cm ($1^{3/4}$ pulg).

Como las presiones dependen directamente de la profundidad del cono, z , el programa empieza los cálculos tomando un Δz muy pequeño (0.05 cm) . Después del primer cálculo o iteración el programa tiene dos opciones:

a) Si la Presión Geométrica es menor que la Presión Hidrostática, entonces el valor de z se duplica para tratar de alcanzar en la siguiente iteración el valor de la Presión Hidrostática requerido.

b) Si la Presión Geométrica es mayor que la Presión Hidrostática, entonces z recupera el valor que tenía antes de sobrepasar el valor de la Presión Hidrostática requerido y en la siguiente iteración utiliza un valor con un incremento igual a la mitad del incremento que causó que sobrepasara el valor de la Presión Hidrostática deseado.

De esta forma se alcanza el valor de $P_g \sim P_h$ con una tolerancia de 0.001. O si lo anterior no se logra el programa se detiene después de 500 iteraciones, esto se observa al correr el programa con la diferencia obtenida entre las presiones reportadas, es decir si tienen valores cuya diferencia es mayor que la tolerancia establecida (0.001), entonces se puede asumir que el programa paró por iteraciones.

Después de haber finalizado con una corrida, el programa posee la opción de cambiar las condiciones de operación o la geometría supuesta, lo cual resulta de gran utilidad para buscar de manera óptima los valores que buscamos.

Los resultados proporcionados por el simulador son:

- Presión Hidrostática
- Presión del Sistema Geométrico
- Rapidez de Salida
- Longitud del Cono
- Diámetro de Salida
- Gasto Total (Flujo Másico)
- Cortes/min (Comprobación)
- Ton x día (Comprobación)

Si bien el análisis realizado fue isotérmico, en corridas diferentes se puede variar la temperatura, por lo que las propiedades del material, específicamente la viscosidad y la densidad, se calcularon en función de la temperatura.

Para la Densidad se utilizaron un par de valores comúnmente utilizados en la industria del vidrio.

Datos:

$$x_1 = 575^{\circ}\text{C}$$

$$x_2 = 1315^{\circ}\text{C}$$

$$y_1 = 2455 \text{ kg/m}^3$$

$$y_2 = 2325 \text{ kg/m}^3$$

Las cuales se ajustaron a la ecuación de una recta:

$$y = mx + b$$

Para los datos reportados la regresión lineal proporciona los valores siguientes:

$$m = -0.1756$$

$$b = +2556$$

Por lo que la "Densidad" estará dada por:

$$\rho = -0.1756T + 2556$$

Para la Viscosidad se poseen los datos según la referencia [11] de un vidrio soda lime reportados en la siguiente tabla:

Temperatura °C	890	1016	1200	1432
Viscosidad(Pa-s)	1×10^4	1×10^3	1×10^2	1×10^1

Con éstos datos se ajustó un modelo logarítmico del tipo:

$$\ln \mu = \ln a + b \ln T$$

Obteniendo las siguientes constantes:

$$a = 2.33 \times 10^{46}$$

$$b = -14.393$$

$$r = -0.99$$

Por lo que nuestra ecuación para la "Viscosidad" quedó de la siguiente forma:

$$\mu = 2.332723251 \times 10^{46} T^{-14.393}$$

5.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA

En el menú de opciones se puede entrar al procedimiento de MASACOR1, una vez dentro del sistema cada procedimiento efectúa lo siguiente:

MASACORT1

Este procedimiento llama a los siguientes en este orden:

- a) DATOS1
- b) DATOS2
- c) TEMP
- d) DATOS2A
- e) MASACORTES

a) *DATOS1*: Este procedimiento maneja los valores de:

- Radio Inicial
- Ángulo de Caída
- Cavidades

b) *DATOS2*: Este procedimiento maneja el valor de:

- Masa de la Botella

c) *TEMP*: Aquí se alimenta el valor de la temperatura para obtener:

- Viscosidad
- Densidad

d) *DATOS2A*: En este procedimiento se alimenta la velocidad de producción:

- Cortes por minuto

Hasta aquí se alimentan datos al programa, los siguientes procedimientos son los de cálculo y resultados.

e) *MASACORTES*: Este procedimiento tiene a su vez los procedimientos *BASE* y *MAIN* y al final el menú de opciones para variar los siguientes parámetros:

- Temperatura
- Cortes por Minuto
- Ángulo de Caída
- Salir del Sistema

Los procedimientos *BASE* y *MAIN* constan de lo siguiente:

f) *BASE*: Realiza los cálculos de:

- Gasto
- Pendiente

g) *MAIN*: Por medio de la igualación de presiones calcula los siguientes parámetros:

- Velocidad
- Diámetro de Salida
- Gasto Total
- Cortes por minuto (Comprobación)
- Producción (Toneladas por Día)

CAPÍTULO 6

RESULTADOS Y VALIDACIÓN DEL MODELO

6.1.- INTRODUCCIÓN

En la industria productora de envases de vidrio, existen parámetros de producción los cuales se manejan de acuerdo a los niveles de demanda para determinado producto. Normalmente se utilizan gráficos que muestran a los operadores las condiciones de fabricación adecuadas para cierto producto de línea, por lo que a través de los años se han establecido empíricamente ciertos valores de trabajo de acuerdo a la experiencia de los operadores y técnicos que ajustan normalmente las máquinas para obtener un producto de calidad.

Para nuestro estudio se desarrollaron una variedad de gráficas las cuales se basan en ecuaciones matemáticas, de tal forma que nuestros resultados se asemejan considerablemente a los que se obtuvieron a través del tiempo por medio de la experiencia.

6.2.- RELACIÓN ENTRE MASA Y CORTES POR MINUTO

Información de mucha utilidad es la que brinda la relación entre la masa del envase a fabricar y la velocidad de corte de las cuchillas. Esta relación se obtiene de la definición ya dada del flujo volumétrico llevando a cabo el siguiente análisis matemático:

$$Q = \frac{2m(\text{cortes} / \text{min})}{60\rho} = \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

de donde

$$m = \frac{60Q\rho}{2(\text{cortes} / \text{min})} = (\text{Kg})$$

el gasto en "m³/seg" está ligado a la producción diaria, por lo que:

$$Q = \left(\frac{\text{Ton}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{1\text{dia}}{86400\text{seg}} \right) \left(\frac{1000\text{Kg}}{1\text{Ton}} \right) / \text{densidad} \left(\frac{\text{Kg}}{m^3} \right) = \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)$$

para una producción de 120 Ton por día tendríamos:

$$Q = \left(\frac{120\text{Ton}}{\text{dia}} \right) \left(\frac{1\text{dia}}{86400\text{seg}} \right) \left(\frac{1000\text{Kg}}{1\text{Ton}} \right) / 2364 \frac{\text{Kg}}{m^3} = 5.8751 \times 10^{-4} \frac{m^3}{\text{seg}}$$

sustituyendo este valor en la relación entre masa y cortes por minuto, y para la velocidad de producción dada:

$$m = \frac{30Q\rho}{\text{cortes} / \text{min}} = \frac{\left(60 \frac{\text{seg}}{\text{min}} \right) \left(5.8751 \times 10^{-4} \frac{m^3}{\text{seg}} \right) \left(2364 \frac{\text{Kg}}{m^3} \right)}{\text{cortes} / \text{min}} = \frac{41.667}{\text{cortes} / \text{min}}$$

Se obtuvo un valor constante de 41.667 para una producción de 120 Ton/día, por lo que se llevaron a cabo cálculos para determinar diversos valores constantes para distintas velocidades de producción, ver Tabla VI.

Tabla VI.- Variación de la Velocidad de Producción respecto a las Constantes de la Ecuación de Relación entre Masa y Cortes por Minuto

Toneladas/día	Constante
120	41.667
110	38.194
100	34.772
90	31.250
80	27.778
70	24.305
60	20.833
50	17.361
40	13.880
30	10.410
20	6.940
10	3.470

La Figura 6.1 presenta los resultados gráficos de este estudio.

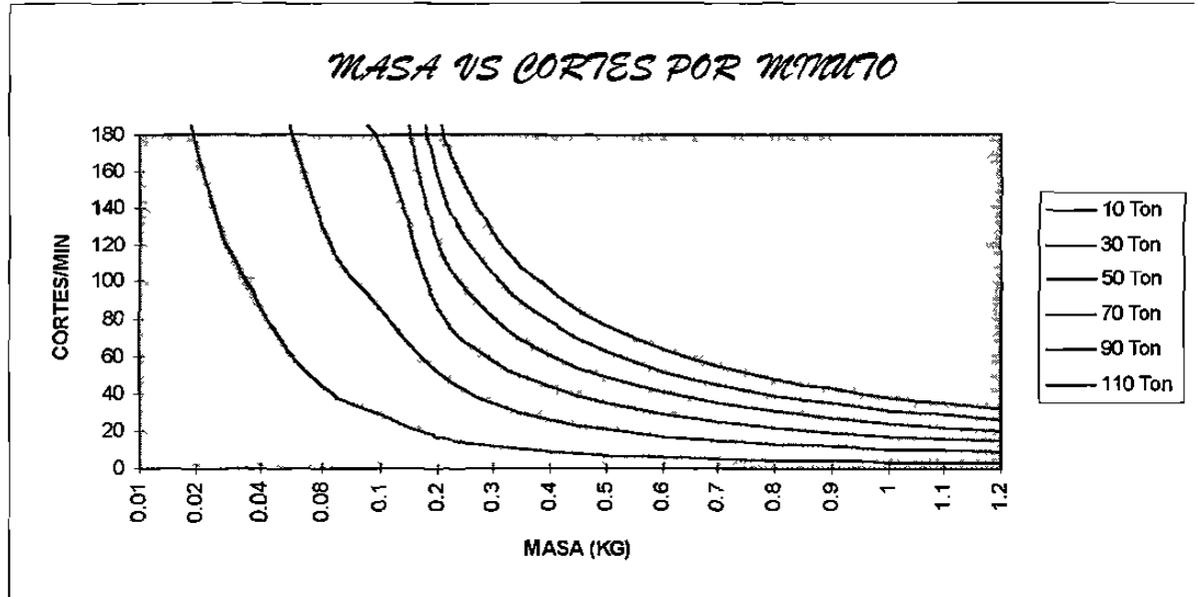


Figura 6.1.- Relación de la rapidez de producción contra el peso del envase a fabricar

Es preciso mencionar que por motivos de propiedad intelectual y patentes no fue posible mostrar las gráficas utilizadas en la industria, así que todas la gráficas aquí mostradas son aproximaciones matemáticas de estas gráficas.

Esta gráfica (Figura 6.1) muestra la variación en el ajuste de los cortes por minuto, de acuerdo a los niveles de producción y al envase que se esté trabajando, por lo que cuando se desea obtener una producción programada de cierto tipo de envase, se debe coordinar el sistema de cuchillas con la velocidad de flujo másico. Esto se hace por medio de un sistema de levas que controla la velocidad de los pistones (en caso de ser utilizados) en coordinación con los cortes por minuto de las cuchillas, además de esto también se puede ajustar la temperatura del vidrio para variar la viscosidad y de esta forma hacer que el vidrio fluya más rápidamente o más lentamente según sea el caso.

De esta forma para obtener una producción de 110 Ton de envases de 0.454 kg a una temperatura de 1090 °C es necesario ajustar el corte de las cuchillas según la ecuación antes descrita a una velocidad de 84 cortes por minuto (Ver Figura 6.2).

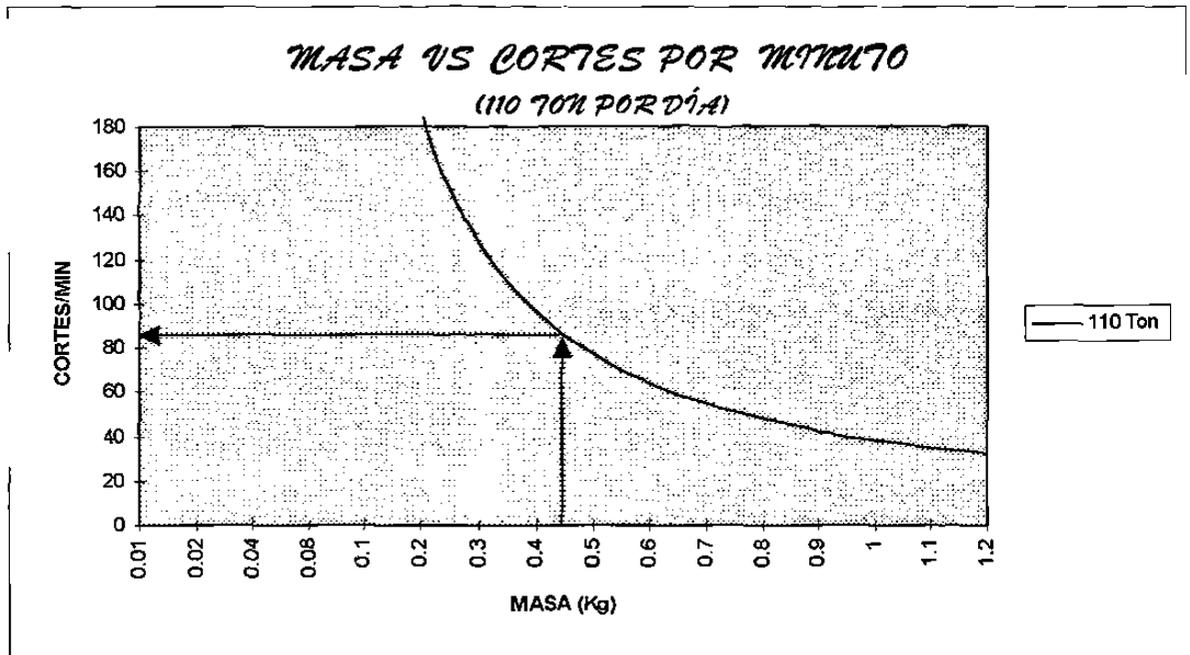


Figura 6.2.- Ejemplo de aplicación del estudio de masa vs cortes por minuto

6.3.- RESULTADOS PARA UNA RELACIÓN DE LOS CORTES POR MINUTO DE LAS CUCHILLAS CON RESPECTO A LA NUEVA GEOMETRÍA PROPUESTA

Por medio de este cálculo se generan gráficas de producción bajo las cuales operaría el sistema para determinar el diámetro más adecuado con respecto a la velocidad de producción, es decir, existe un rango de velocidad bajo el cual operaría una geometría determinada para poder cumplir con el peso adecuado del envase a fabricar. En esta gráfica (ver Figura 6.3) se realizaron diferentes cálculos para una variedad de ángulos de inclinación de nuestra geometría.

El procedimiento para obtener estos resultados fue el siguiente:

- a) Se mantuvo constante el valor de la inclinación del cono.
- b) Se introdujeron las condiciones de operación: temperatura, cortes por minuto y peso del envase.
- c) Se obtuvieron los resultados de las dimensiones de la geometría propuesta: longitud y diámetro de salida, para las condiciones de operación establecidas en nuestro cálculo.

Los ángulos manejados en nuestros cálculos cayeron en los rangos los valores que se utilizan realmente en la industria productora de envases de vidrio, sabemos que la caída no debe ser tan pronunciada debido a que existiría mayor turbulencia durante el flujo de vidrio, por lo que la mayor inclinación para nuestro estudio fue de 60° . Y el valor de 15° se tomó como mínimo, ya que por encima de éste se obtenían los valores que son utilizados en la realidad.

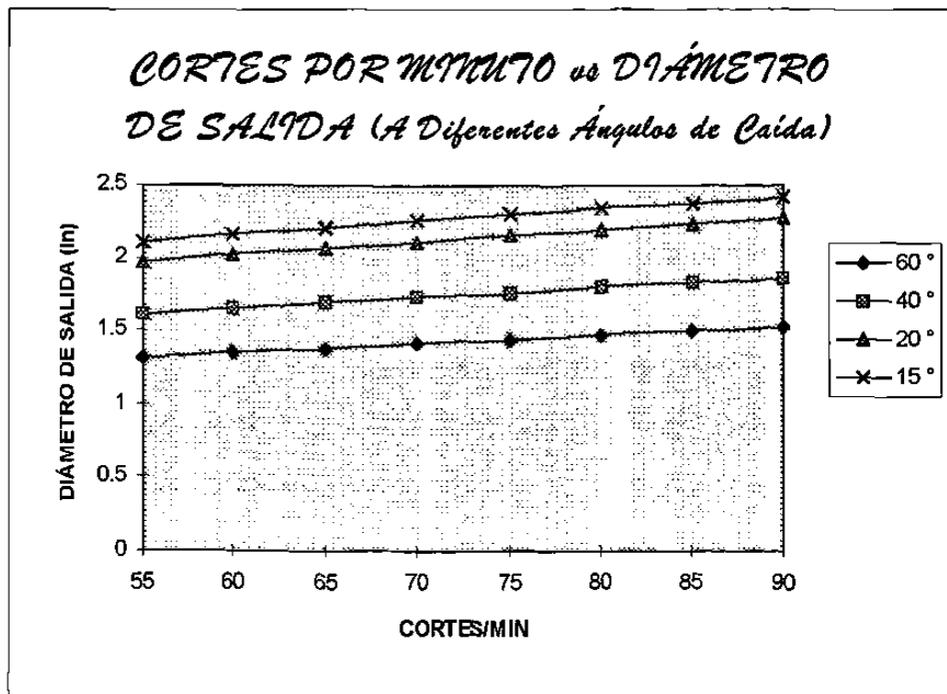


Figura 6.3.- Relación de los diferentes diámetros de salida respecto a la velocidad de producción, calculada a diferentes ángulos de caída de la geometría en estudio

El modelo descrito hasta ahora proporciona los valores utilizados para generar esta gráfica.

El envase bajo estudio fue el que se utiliza para contener bebidas carbonatadas de 355 ml, por lo que nuestro análisis se llevó a cabo de la siguiente forma:

- De la Figura 6.1, se toman los valores de velocidad de corte de cuchillas de acuerdo al peso de la botella y la velocidad de producción deseada.
- Una vez obtenido el valor de cortes por minuto de las cuchillas pasamos a esta gráfica para determinar el diámetro adecuado para trabajar éste envase a ésta velocidad.

El simulador proporciona estos datos trabajando de la siguiente forma, suponiendo parámetros aleatorios para obtener un punto de los mostrados en el gráfico anterior:

- Debido a que nuestro análisis es isotérmico suponemos una temperatura de trabajo, para nuestro caso nos interesan valores alrededor de 1090 °C, ya que a esta temperatura sale el vidrio del chorreador y un ángulo de inclinación de 20° como supuesto.
- Sabemos que una botella contenedora de 355 ml tiene una masa de 0.454 kg, por lo que de la Figura 6.1 tomamos datos de cortes por minuto para una producción establecida, en este caso de 110 Ton/día.
- Del programa obtenemos el dato de diámetro de salida para las condiciones anteriormente establecidas, para este caso en particular fue de 2.5 in, ver Fig 6.4.

Existen diferentes ángulos bajo los cuales se puede determinar un diámetro adecuado de salida, para lo cual se deben de tomar factores de comportamiento del vidrio en estado turbulento y pérdidas de calor diferentes a las consideradas en este análisis, por lo que en este estudio nos limitamos a determinar un rango de valores bajo los cuales operan los que existen en la realidad.

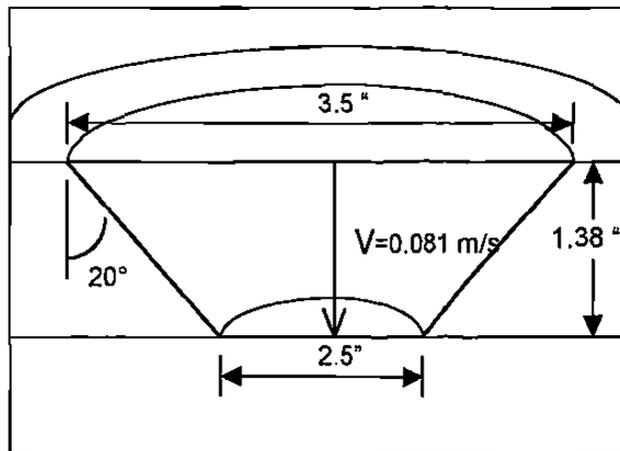


Figura 6.4.- Geometría obtenida según datos de ejemplo

Una vez determinada la geometría adecuada para estas condiciones, es importante mencionar que el sistema posee un rango de operación en cuanto a velocidades, es decir, que si se varía la velocidad no necesariamente es indispensable cambiarlo, sino que dependiendo de éste parámetro el sistema será capaz de mantenerse bajo ciertos rangos de variación del mismo.

6.4 .- CÁLCULOS MATEMÁTICOS APLICADOS AL REDISEÑO DE LA DESCARGA

Los datos obtenidos en nuestro estudio se aplicaron al rediseño del sistema de descarga, nuestro trabajo se llevó a cabo para un tamaño de envase en particular, pero el procedimiento para llevar a cabo los cálculos para cualquier otro tamaño de envase ya fue establecido.

Una vez obtenido el procedimiento para determinar el tipo de cono de acuerdo al producto y cantidad de producción deseada, se trabajó con la idea de colocarlo de tal forma que fuese fácil de intercambiar y en el menor tiempo posible.

Para esto se trabajó en distintas ideas, recordando que el enfoque de esta tesis es desde el punto de vista de análisis del comportamiento del vidrio bajo las condiciones de trabajo ya anteriormente explicadas. Solo se muestra una de las ideas propuestas para desensamblar y ensamblar en el menor tiempo posible los conos en el chorreador modificado, ver Figura 6.5

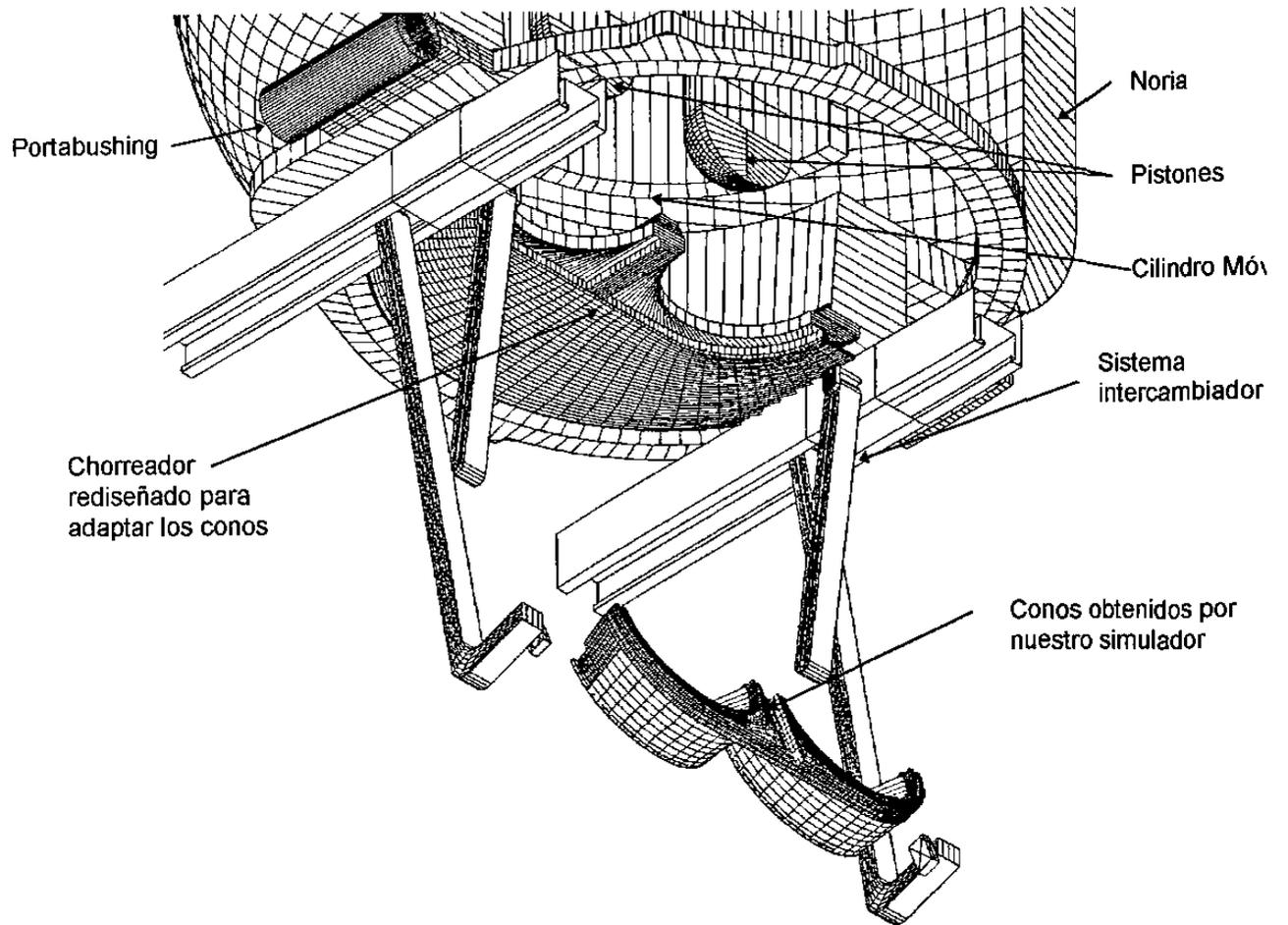


Figura 6.5.- Rediseño de la descarga de vidrio (vista isométrica inferior)

6.5.- RESULTADOS ADICIONALES

El programa es capaz de obtener una variedad muy amplia de resultados, dependiendo principalmente de que variable deseemos estudiar, para nuestro estudio que fue el de un envase de 355 ml, se realizó como ya se explicó anteriormente, pero si se desea determinar para una gama de envases de diferentes pesos, se realiza el mismo procedimiento antes descrito y se puede obtener un resultado satisfactorio como el que se obtuvo en nuestro análisis.

Otro tipo de gráficas que es posible obtener por medio de este modelo, sería variando la temperatura en alguno de los análisis anteriores, obteniendo gráficas como la Figura 6.6, la cual nos da una idea de la variación de la velocidad del flujo másico con respecto a la misma, todo esto para una serie de variables constantes tales como masa, diámetro de salida y presión.

Para la Figura 6.6, se tomaron como constantes los valores de diámetro de salida= 1.6 in, longitud del cono= 2.03 in y ángulo de caída= 25°, la interpretación física de este tipo de análisis es que se tiene una geometría constante y se desea saber que es lo que sucede con la velocidad de salida del material, respecto a la temperatura.

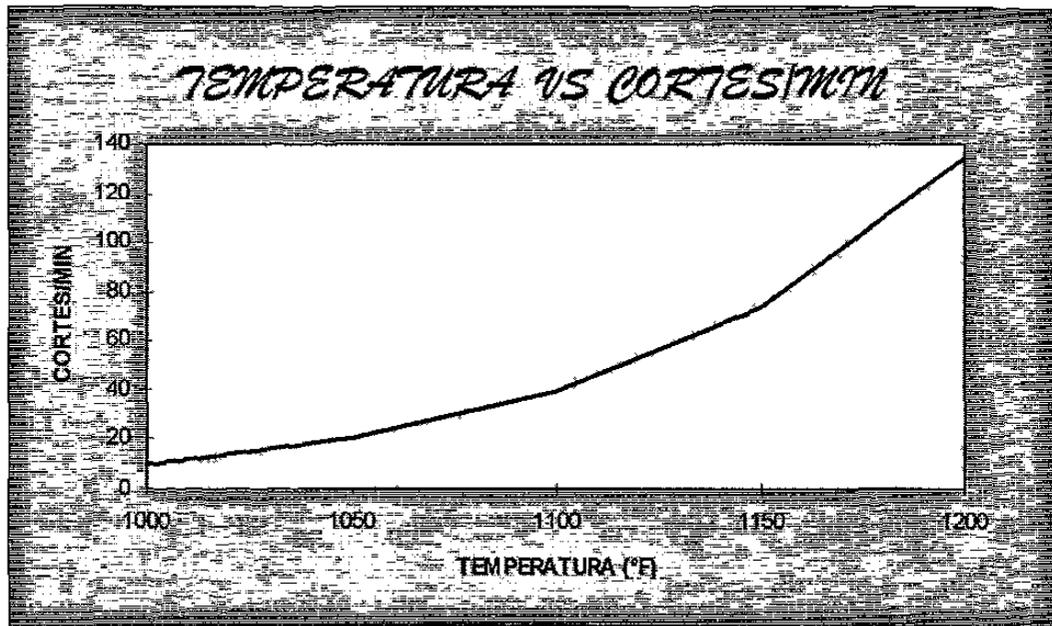


Figura 6.6.- Gráfica de la relación que existe entre temperatura y la velocidad de flujo

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES

7.1.- CONCLUSIONES

Es muy importante dejar en claro que a lo largo de este trabajo se le llamó geometría al diseño de los conos de descarga. Cuando se explica el cálculo de la geometría cónica, los parámetros determinantes son: la altura, la inclinación y el diámetro de salida.

Por lo que las conclusiones se resumen a lo siguiente:

- 1.- Comprobamos que nuestros cálculos nos aproximan a la realidad ya que fueron muy semejantes a los que se manejan actualmente en la industria productora de envases de vidrio, los cuales han sido obtenidos en base a procedimientos empíricos.
- 2.- Con este modelo podemos calcular una geometría adecuada para cada modelo de contenedor en particular.

3.- El diseño y cálculo de los diferentes tipos de conos, abrirá todo un campo para el estudio de un nuevo sistema de intercambio, el cual puede ser tema para otra tesis, de tal forma que puede ser posible obtener un sistema conjunto de conos y cambio rápido, que trabaje con mayor seguridad y eficiencia.

4.- El modelo matemático y el programa pueden ser utilizados para estudiar nuevos proyectos con nuevos productos, diferentes capacidades de la maquinaria y parámetros de operación.

5.- Es posible mejorar procesos que actualmente se encuentran estancados en nuestra industria, en los cuales debido a mitos de trabajo, parecía solo importar el hecho de mantener el proceso funcionando. Con un cambio de mentalidad podemos entender que solo dedicándose a la mejora constante de los procesos de nuestra industria (por medio de instituciones de investigación como el DIMAT en FIME, UANL) tendremos la oportunidad de sacarle el mejor provecho a cualquiera de ellos, y convertir de esta forma los procesos de nuestra industria en procesos de alta eficiencia que puedan superar a cualquier competencia a nivel mundial.

7.2.- RECOMENDACIONES

1.- Este campo de la industria tiene una gama muy variada de oportunidades para estudiar y mejorar, ya que la tecnología que se utiliza actualmente se encuentra casi en las mismas condiciones con las que empezó, por lo que aparte del comportamiento del vidrio durante el proceso se pueden estudiar los mecanismos y procesos involucrados en la fabricación de envases.

2.- El programa utilizado en este trabajo para el diseño de los conos puede ser mejorado para obtener resultados más apegados a la realidad, considerando menos restricciones matemáticas, tales como un estudio no isotérmico: tomando en cuenta propiedades térmicas de los materiales involucrados en el proceso, fuentes externas de calor, sistemas aislantes y demás condiciones que gobiernen a este proceso. También llevando a cabo un estudio del comportamiento de este sistema a través del tiempo, es decir, al llevar a cabo un intercambio de conos, se para el flujo de vidrio y el vidrio se deshomogeniza por lo que es importante determinar el comportamiento del vidrio en cuanto a su homogenización, es decir, el comportamiento del vidrio hasta el restablecimiento de la producción. Esto por mencionar algunos de los factores que podrían ser estudiados para mejorar y hacer más robusto nuestro programa.

3.- Estudio del comportamiento del vidrio desde el inicio del proceso (durante su fundición en el horno) hasta el soplado del mismo en el molde, con el objetivo de entender mejor el proceso completo y buscar áreas de oportunidad para mejorarlo.

4.- En este trabajo se rediseñó solo una parte del proceso de fabricación de envases, posiblemente sea tiempo de rediseñarlo por completo.

ANEXO 1

PROGRAM CONO;

{ $\$N+$ }

USES

CRT,GRAPH,EJES;

VAR

J,R,PG,PH,MU,K,D,QT,Q,RO,O,T,TON,Z,PI,V,m,HF,ZIN,DIN,CORTES,CAV,DI

B,ITERF,ITER,TOL,I,OPCIONOP:REAL;

OPCION:STRING[2];

RR:STRING;

HGM:EXTENDED;

II,JJ,HH,B,L,W,KK,QQ:INTEGER;

DIAMETRO,CORMIN:ARRAY [1..20] OF REAL;

PROCEDURE DATOS1;

BEGIN

R:=0.04445;

GOTOXY (II,JJ); WRITELN ('ANGULO DE CAIDA=');

GOTOXY (II,JJ+1);READLN (O);

CAV:=2;

END;

PROCEDURE TEMP;

BEGIN

HH:=JJ+1;

KK:=HH+1;

QQ:=HH+2;

GOTOXY (II,JJ); WRITELN ('TEMPERATURA=(\varnothing C)');

GOTOXY (II,HH); READLN (T);

HGM:=2.332723E46;

MU:=HGM*EXP(-14.3930425*LN(T));

RO:=-0.1756*T+2556;

GOTOXY (II,KK+1); WRITELN('VISCOSIDAD= ',MU:10:3);

GOTOXY (II,HH+1); WRITELN('DENSIDAD= ',RO:10:3);

READLN;

END;

PROCEDURE DATOS2;

BEGIN

HH:=JJ+1;

GOTOXY (II,JJ); WRITELN ('MASA DE LA BOTELLA=(kg)');

GOTOXY (II,HH); READLN (m);

END;

PROCEDURE DATOS2A;

BEGIN

HH:=JJ+1;

GOTOXY (II, JJ); WRITELN ('CORTES POR MIN=');

GOTOXY (II, HH); READLN (CORTES);

END;

PROCEDURE BASE;

BEGIN

Q:=m*CORTES/60/RO;

K:=SIN(O/57.3)/COS(O/57.3);

END;

PROCEDURE MAIN;

BEGIN

PI:=3.1416;

TOL:=0.001;

ITERF:=500;

I:=0.0005;

Z:=0;

ITER:=0;

DIB:=0;

REPEAT

Z:=Z+I;

J:=Z/R;

ITER:=ITER+1;

HF:=(1-K*J);

PG:=4*MU*Q/3/PI/EXP(3*LN(R))/K*(1/HF/HF/HF-1);

PH:=RO*9.81*(0.1524+Z);

DIB:=ABS(PG-PH);

IF PG>PH THEN

BEGIN

Z:=Z-I;

I:=I/2;

END;

UNTIL (PG=PH) OR (DIB<TOL) OR (ITER>ITERF);

V:=Q/PI/R/R*(1/SQR(HF));

D:=(R-K*Z)*2;

DIAMETRO[L]:=D;

DIN:=D*100/2.54;

ZIN:=Z*100/2.54;

QT:=PI*SQR(D)/4*V*RO*2;

CORTES:=QT/2/m*60;

CORMIN[L]:=CORTES;

TON:=QT*3600*24/1000;

```

CLRSCR;
GOTOXY (16,4); WRITELN('PRESION HIDROSTATICA = ',PH:10:3,' Pa');
GOTOXY (16,6); WRITELN('PRESION DEL SISTEMA GEOMETRICO = ',
                        PG:10:3,' Pa');
GOTOXY (16,8); WRITELN('VELOCIDAD DE SALIDA = ',V:10:3,' m/s');
GOTOXY (16,10); WRITELN('LONGITUD DEL CONO = ',ZIN:10:3,' in');
GOTOXY (16,12); WRITELN('DIAMETRO DE SALIDA = ',DIN:10:3,' in');
GOTOXY (16,14); WRITELN('GASTO TOTAL = ',QT:10:3,' kg/s');
GOTOXY (16,16); WRITELN('CORTES POR MINUTO = ',CORTES:10:3);
GOTOXY (16,18); WRITELN('TON POR DIA = ',TON:10:3);
READLN;
END;

```

PROCEDURE MASACORTES;

```

BEGIN
  BASE;
  MAIN;
  CLRSCR;
  GOTOXY (25,5); WRITELN ('DESEA CAMBIAR EL VALOR DE:');
  GOTOXY (28,7); WRITELN (('A) LA TEMPERATURA');
  GOTOXY (28,8); WRITELN (('B) LOS CORTES');
  GOTOXY (28,9); WRITELN (('C) EL ANGULO');
  GOTOXY (28,10); WRITELN (('ENTER) SALIR');
  GOTOXY (53,5); READ (OPCION);
  IF (OPCION='A') THEN
    BEGIN
      II:=25;
      JJ:=11;
      TEMP;
      MASACORTES;
    END;
  IF (OPCION='B') THEN
    BEGIN
      II:=25;
      JJ:=11;
      DATOS2A;
      MASACORTES;
    END;
  IF (OPCION='C') THEN
    BEGIN
      II:=25;
      JJ:=11;
      DATOS1;
      MASACORTES;
    END;
END;

```

END;

PROCEDURE MASACOR1;

BEGIN

CLRSCR;

II:=25;

JJ:=5;

DATOS1;

JJ:=7;

DATOS2;

JJ:=9;

TEMP;

II:=25;

JJ:=13;

DATOS2A;

MASACORTES;

END;

PROCEDURE MENUDEOPCIONES;

BEGIN

CLRSCR;

GOTOXY (7,5); WRITE ('PROGRAMA PARA CALCULAR LA GEOMETRÍA
ADECUADA PARA EL SISTEMA');

GOTOXY (25,11); WRITE ('1.- ENTRAR AL SISTEMA');

GOTOXY (25,13); WRITE ('2.- ABANDONO DEL SISTEMA');

GOTOXY (44,22); WRITE ('SELECCIONE UN NUMERO ');

GOTOXY (66,22); READ(OPCIONOP);

END;

BEGIN

CLRSCR;

REPEAT

MENUDEOPCIONES;

IF OPCIONOP=1 THEN

MASACOR1;

IF OPCIONOP=2 THEN

DIAMCOR1;

IF OPCIONOP=3 THEN;

UNTIL OPCIONOP=3;

READLN;

GOTOXY (15,24); WRITE('***** PRESIONE ENTER PARA SALIR *****');

READLN;

END.

REFERENCIAS

- [1] Havis Dawson, Reportero Industrial
Octubre 1994, p 5-6.

- [2] The History of Glass
Dan Klein, Ward Lloyd
1989 Macdonald & Co (Publishiers), Czechoslovackia.

- [3] Pliny, Historia Natural, XXXVI, 191 - 2.

- [4] Sonia Ma. Monroy, Museo del Vidrio, Vidriera Monterrey
Mayo 1992
- Prof. Miguel Angel Fernández, "El Vidrio en México"
- Arq. Eliseo Garza y Lic. Federico Padilla Dieste.

- [5] Harry H. Holscher, The Glass Primer
Magazines for Industry, 1972, p 2,4-13.

- [6] James F. Shackelford
Ciencia de Materiales para Ingenieros, p 384-386
Prentice Hall, 1995.

- [7] De E.B. Shand, Engineering Glass
Modern Materials, Vol. 6, Academic
Press, New York, 1968, p-262.
- [8] Peter J. Vergano, Glass Containers
Engineered Materilas Handbook, Ceramics and Glasses
Department of Food Science, College of Agricultural Science, Clemson
University.
- [9] Harrie J. Stevens,
New York State College of Ceramics, Alfred University.
- [10] *Dynamics of Polymeric Liquids (Fluid Mechanics)*
R. Byron Bird, Robert C. Armstrong, Ole Hassager
1977 John Wiley & Sons, Inc., p 30 - 31.
- [11] Callister
Materials Science and Engineering (An Introduction), p 420-421.

