



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica]



**"CICLO OPTIMO DE UN PROCESO DE RECOCIDO
PARA ALIVIO DE TENSIONES EN LA INDUSTRIA
DEL VIDRIO"**

INFORME TECNICO

**Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:
Harry Mawyin Cedeño**

Guayaquil - Ecuador

1.988

AGRADECIMIENTO

Al ING. IGNACIO WIESNER F.
Director de Informe Técnico,
por su ayuda y colaboración
para la realización
de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

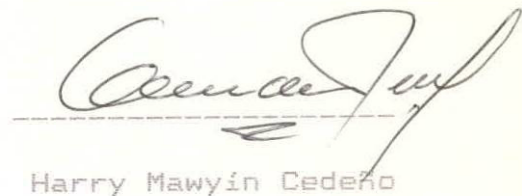
A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Reporte Técnico, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



Harry Mawayin Cedeno



Ing. Nelson Cevallos
DECANO



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR REPORTE



Ing. Jorge Duque R.
MIEMBRO TRIBUNAL

RESUMEN

Es por todos conocido que en toda Planta Industrial, independientemente de su naturaleza, el objetivo primordial es obtener buenos resultados, y estos dependen de tres aspectos fundamentales: Producción, costos y ventas. Cada uno de ellos relacionados entre sí.

Este informe técnico está basado específicamente en el primero de ellos: La producción, y trata de corregir fallas en la línea de producción de envases, pero enfocado directamente a la modificación del ciclo de recocido para eliminar o disminuir las tensiones residuales que se forman durante el proceso de formación del envase y posteriormente a lo largo del túnel de recocido.

Este túnel de recocido, es descrito en forma general indicando las partes de que consta y de las zonas de control de Temperatura-tiempo, en las cuales se pueden reintroducir las tensiones.

Se describen además, los diferentes tipos de proceso de formación que se usa para formar el envase dando una descripción de la función de cada elemento como parte integrante de la máquina. Estas máquinas son llamadas máquinas IS, cuya abreviatura IS indica "Individual Sections".

Se procede luego a hacer una evaluación real de la

situación o del problema propiamente dicho y se efectúan, como consecuencia, unos cálculos teóricos y empíricos para hallar la temperatura de recocido en un determinado espesor de vidrio, y la velocidad de enfriamiento que debe tener para tener tensiones a niveles tolerables. Se indica además la zona crítica que determina temperaturas y tiempo de permanencia del producto en el túnel.

Finalmente se efectúan pruebas con diferentes tiempos de enfriamiento y diferentes tipos de envases y se procede a desarrollar el ciclo óptimo de recocido y en base a éste se evalúan y comparan los resultados obtenidos para sacar las conclusiones respectivas.

Una vez que se operó normalmente la producción, se hizo un seguimiento tanto de las curvas de recocido como de la producción, obteniendo como resultado que el porcentaje de producción con altas tensiones se redujo de un promedio de 13.5% que existía antes al 3.05%, que económicamente representa mucho, tanto en reducción de costo como en el manipuleo de los envases.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCION

1.- ANTECEDENTES

1.1.- Historia.

1.2.- Descripción del equipo de recocido.

1.3.- Zonas de control.

2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1.- Proceso de formación del envase.

2.2.- Diferentes tipos de proceso.

2.3.- Contacto metal-vidrio.

2.4.- Origen y formación de esfuerzos internos.

3.- ALTERNATIVAS

3.1.- Análisis de la situación.

3.2.- Cálculo teórico y enfoque empírico del enfriamiento en la zona crítica.

3.3.- Elaboración de curvas temperatura-tiempo para distintos espesores del envase.

3.4.- Necesidad de recocer en vidrio.

4.- RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

APENDICES.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.1.1.- Disposición general de la planta.
- Fig. 1.2.1.- Túnel de recocido y zonas de control.
- Fig. 1.3.1.- Calentamiento del vidrio a vel. uniforme.
- Fig. 1.3.2.- Enfriamiento durante el rango de recocido a una velocidad uniforme.
- Fig. 1.3.3.- Curva típica de recocido.
- Fig. 2.1.1.- Proceso de formación del envase.
- Fig. 2.2.1.- Proceso soplo-soplo.
- Fig. 2.2.2.- Proceso 51: Formación del terminado por medio del vacío.
- Fig. 2.2.3.- Proceso prensado-soplado.
- Fig. 2.3.1.- Quemador a la entrada.
- Fig. 2.4.1.- Relación viscosidad-temperatura del vidrio.
- Fig. 2.4.2.- Envase con tensión y sin tensión.
- Fig. 3.2.1.- Curva Viscosidad-Temperatura para vidrio Soda-Calcico.
- Fig. 3.2.2.- Dist. de la temp. en el espesor de una placa de vidrio, enfriada a velocidad constante.
- Fig. 3.4.1.- Esquema de un polariscopio.
- Fig. 3.4.2.- Polariscopio blanco y negro.
- Fig. 3.4.3.- Disco estandarizado.
- Fig. 3.4.4.- Disco 1. Tensiones leves.
- Fig. 3.4.5.- Disco 3. Tens. 3 veces superior a disco 1.
- Fig. 3.4.6.- Disco 5. Tensiones no tolerables.
- Fig. 3.4.7.- Disco 6. Tensiones peligrosas.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1. HISTORIA

Comummente se piensa en el vidrio como un material único, al cual puede darse una gran variedad de conformaciones.

Por lo general nosotros preguntamos, Qué es el vidrio?, cuando debería preguntarse, Qué son los vidrios?. También, se ha hecho costumbre llamar vidrios a muchas sustancias amorfas; en esta acepción -común entre los físicos- por ejemplo, vidrio significa una estructura, o más bien, la ausencia de una estructura ordenada.

Las definiciones más aceptadas son:

" Los vidrios son materiales sólidos que se obtienen por enfriamiento rápido de una masa fundida impidiendo su cristalización".

" Los vidrios son sólidos amorfos".

El presente informe técnico trata precisamente de estos sólidos amorfos y del tipo de vidrio común SODA-CALCICO conocido comummente como SODA-LIME.

En nuestro país, la única fábrica de envases de vidrio es Cristaleria del Ecuador S.A. (CRIDESA). Este estudio fue efectuado por el año 1978, y se trata de una de las muchas experiencias que he tenido en mi carrera profesional.

En aquella época esta planta tenía un horno del tipo

"UNIT MELTER", con dos alimentadores y dos máquinas IS de cinco secciones, luego en el año 1976 se efectuó una expansión de la planta y el horno que originalmente tenía una capacidad de fundición de 35 toneladas métricas, fue ampliado a 70 toneladas métricas, de igual manera se instaló otra máquina IS con seis secciones.

Los tuneles de recocido, que son los que alivian las tensiones o esfuerzos internos en los envases, no tenían un estricto control de la temperatura a lo largo de los mismos, el túnel # 3 que estaba recién instalado, era el único que tenía un control de temperatura adecuado.

En resumen, de la producción mensual total en un mes típico, se obtenía una parte de ella ($\approx 12-15\%$) con altas tensiones, es decir este porcentaje de envases estaban sujetos a una rotura instantánea en cualquier momento.

Los diferentes defectos de los envases son chequeados por control de calidad y están clasificados como:

DEFECTO CRITICO

DEFECTO MAYOR

DEFECTO MENOR

DEFECTO CRITICO: Es un defecto que según el juicio y la experiencia puede resultar peligroso o presentar condiciones inseguras al individuo al momento de usar el envase. Ejemplo: vidrio con tensiones altas, rajaduras en el pico, piedras en el vidrio, etc.

DEFECTO MAYOR: Es un defecto diferente al crítico, que puede resultar con falla o que puede reducir materialmente su uso. Por ejemplo: baja densidad, vidrio no homogéneo, espesor fino, etc.

DEFECTO MENOR: Es un defecto que precisamente no reduce materialmente su uso ni presenta peligro para el usuario, Por ejemplo: cilindro elíptico, inclinación del envase, arrugas del vidrio, burbujas, etc.

Las cifras presentadas en el cuadro I, son datos reales tomados de un mes cualquiera.

En capítulos posteriores veremos, como y donde se originan los esfuerzos y las tensiones en el vidrio, la forma de medirlas y la manera de aliviar las mismas.

Para tener una idea general de como es una planta de formación de envases se ha graficado en la figura 1.1.1 la disposición de la misma.

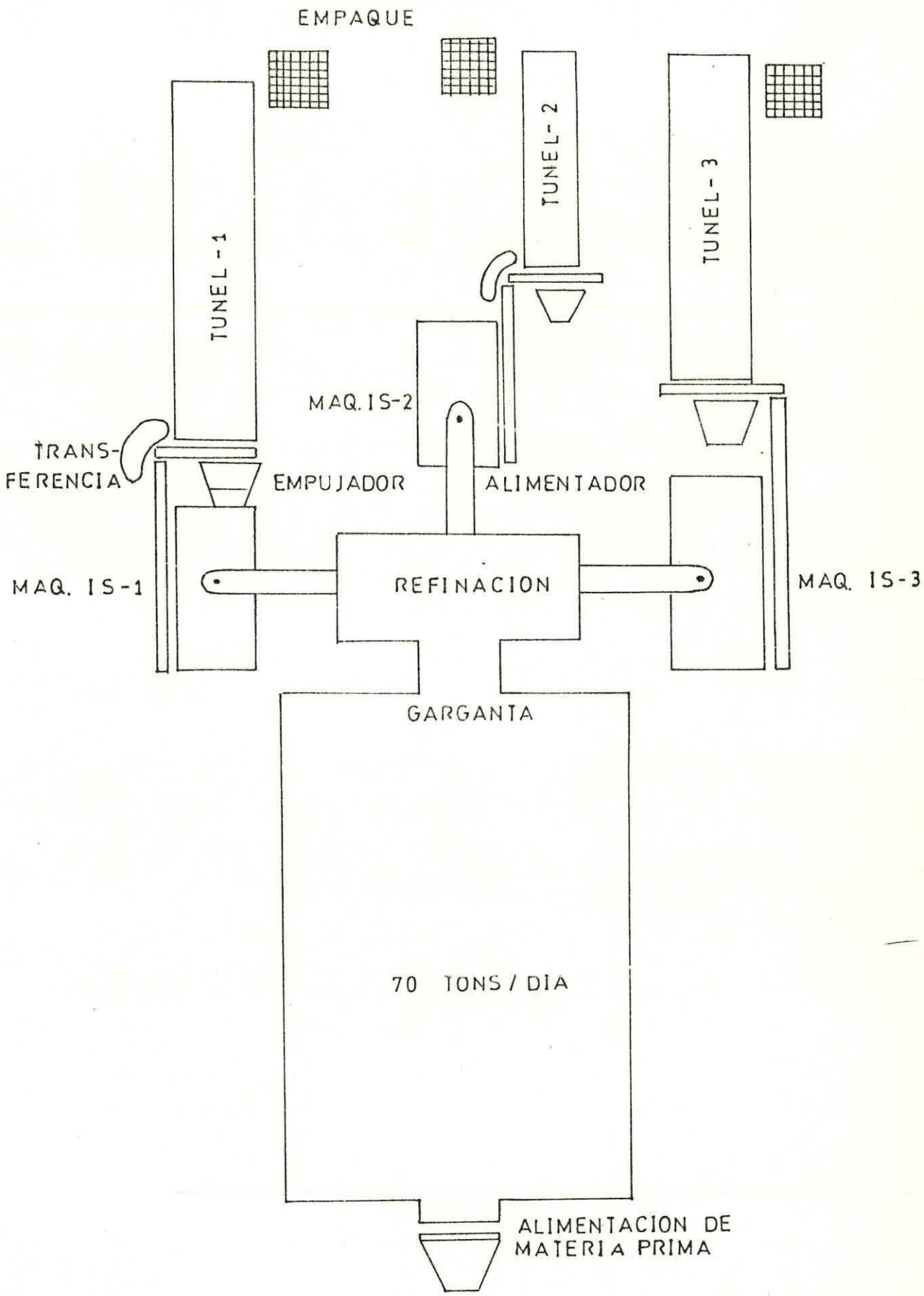


FIGURA 1.1.1.- DISPOSICION GENERAL DE LA PLANTA

1.2. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE RECOCIDO

Como se analiza posteriormente, el origen de la formación de las tensiones en el envase, se inicia realmente desde el proceso de formación del mismo hasta su ingreso al túnel de recocido. Luego de su formación el envase ingresa al túnel para aliviar las tensiones a límites tolerables.

El equipo de recocido consta de las siguientes partes:

- a.- El túnel propiamente dicho
- b.- Zona de recalentamiento, recocido y enfriamiento
- c.- Quemadores
- d.- Banda transportadora y equipo de transmisión.

En la figura 1.2.1, se muestra las partes del equipo de recocido y la curva típica de la variación de la temperatura con respecto a las zonas de recalentamiento, recocido y enfriamiento del túnel de recocido.

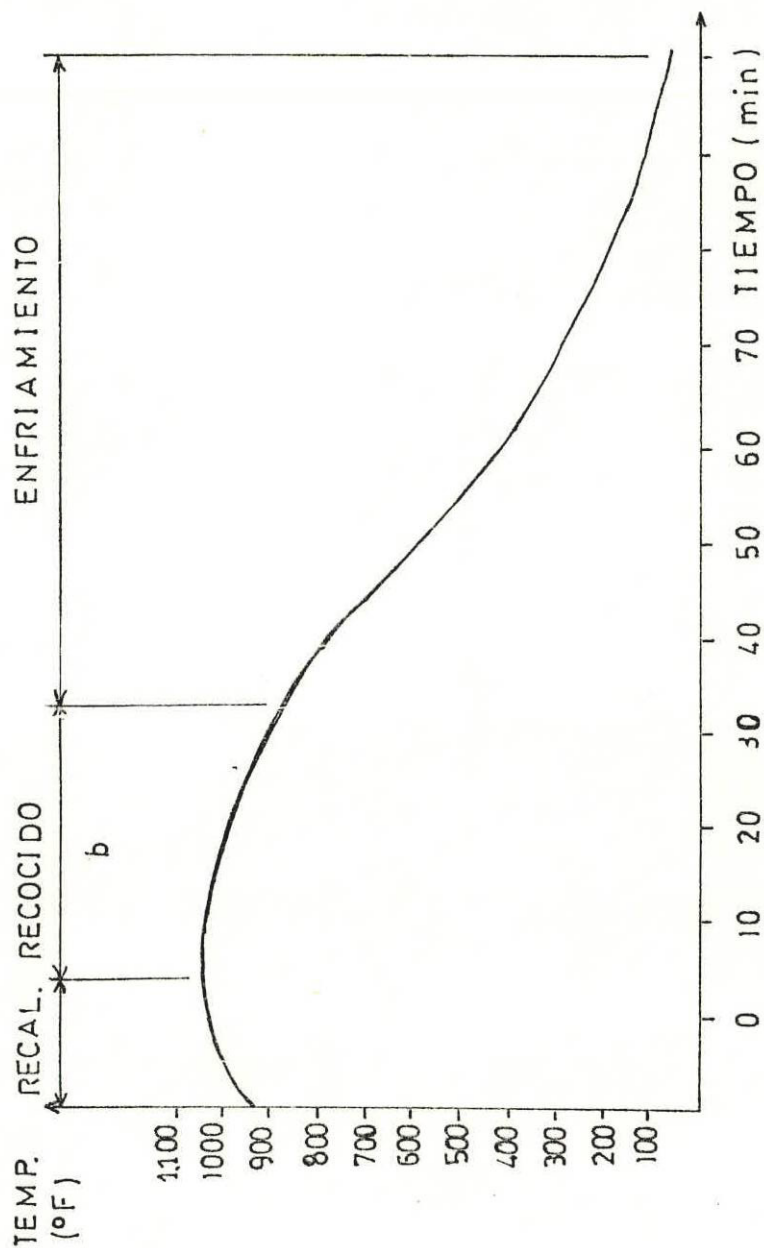
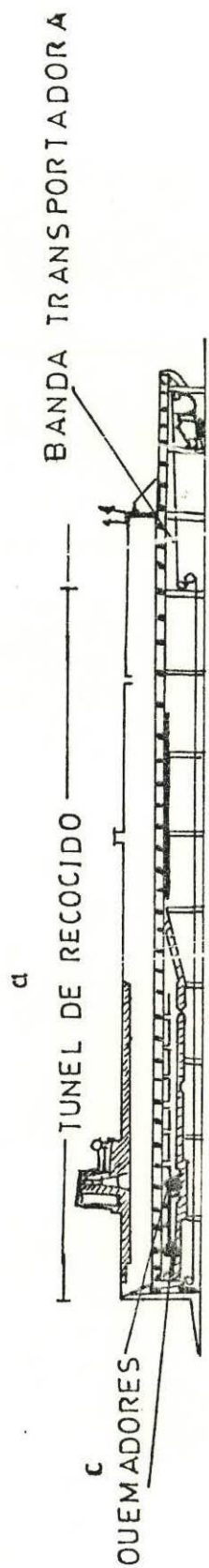


FIG. 1.2.1.- EQUIPO DE RECOCIDO

1.3. ZONAS DE CONTROL

La mayoría de los problemas de recocido ocurren por lo general en dos zonas del túnel.

- La primera es en la zona de carga o calentamiento del túnel, donde se presentan problemas o condiciones impropias de temperatura.

Realmente, en la planta solamente la línea N°3 tenía los elementos de control como para obtener una curva de temperatura adecuada.

En esta primera zona (de carga) es importante estar seguro de recalentar todos los envases a medida que ingresan al túnel, hasta la temperatura o punto de recocido, este recalentamiento permitirá la liberación de esfuerzos o tensiones que se originaron en el formado.

- La segunda zona, es la que parece causa mayores problemas en el control de recocido, y la misma es la última sección de control del rango de temperatura.

Una caída muy rápida después del punto de liberación de esfuerzos hasta una temperatura sustancialmente por debajo del punto de liberación de esfuerzos, tiende a reintroducir nuevas tensiones y esfuerzos transitorios.

El movimiento del aire a través de los codos o cerca de las paredes en el túnel, también tiende a causar problemas en el control de un recocido adecuado en la zona de liberación de esfuerzos.

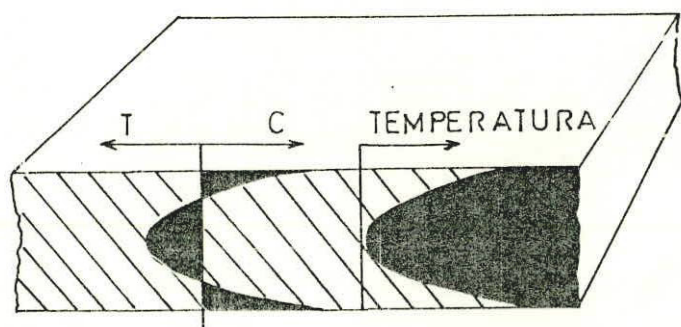
Cuando una placa de vidrio es calentada desde una temperatura ambiente a otra temperatura más alta, el calor fluye desde su superficie exterior hacia el centro de su sección transversal, con una caída de temperatura en la dirección del flujo de calor.

Como el vidrio se expande con el calentamiento, hay un esfuerzo de compresión en la superficie, balanceado por un esfuerzo de tensión en las capas centrales de la placa (figura 1.3.1).

Debido a esta condición de resistencia compresiva en la superficie, cualquier vidrio puede ser calentado mucho más rápido de lo que puede ser enfriado.

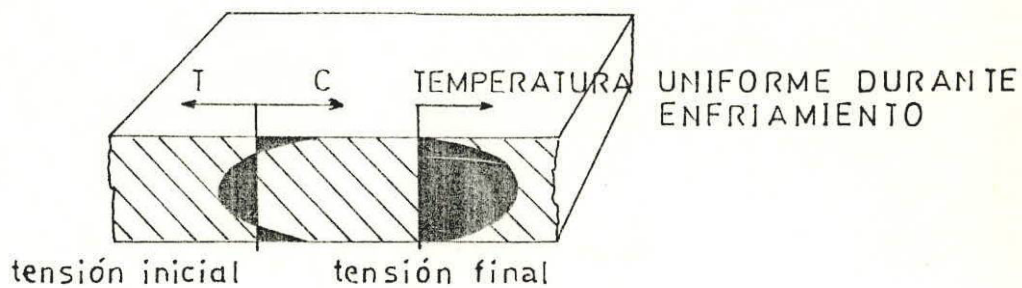
En cambio, en el enfriamiento del vidrio, también a una velocidad uniforme, los esfuerzos de tensión ocurrirán en cada superficie, pero será balanceada por esfuerzos de compresión en el centro de la sección transversal. La temperatura será mínima en cada superficie exterior y será, máxima en el centro de la placa.

Al inicio del enfriamiento, y estando el centro más caliente, éste sufrirá una gran contracción lo cual da como resultado tensiones por compresión en las superficies del vidrio, balanceadas por otras de tensión en el centro. Ver fig. 1.3.2.



T = TENSION
C = COMPRESION

FIG. 1.3.1.- CALENTAMIENTO UNIFORME



T = TENSION
C = COMPRESION

FIG. 1.3.2.- ENFRIAMIENTO EN EL RANGO DE RECOCIDO
VELOCIDAD UNIFORME

Para obtener un buen recocido, el vidrio debe ser calentado a una temperatura por encima de su punto de recocido, mantenida un determinado tiempo para permitir o asegurar uniformidad en todo su cuerpo, y luego enfriarlo al rango crítico, es decir al punto de eliminación de tensiones. Luego enfriarlo lo más rápidamente posible evitando el que se formen nuevamente tensiones altas.

En la figura 1.3.3 se indica una curva típica de temperatura.

El control y seguimiento de estas dos primeras zonas, es la clave de un recocido que garantice una excelente resistencia a la rotura.

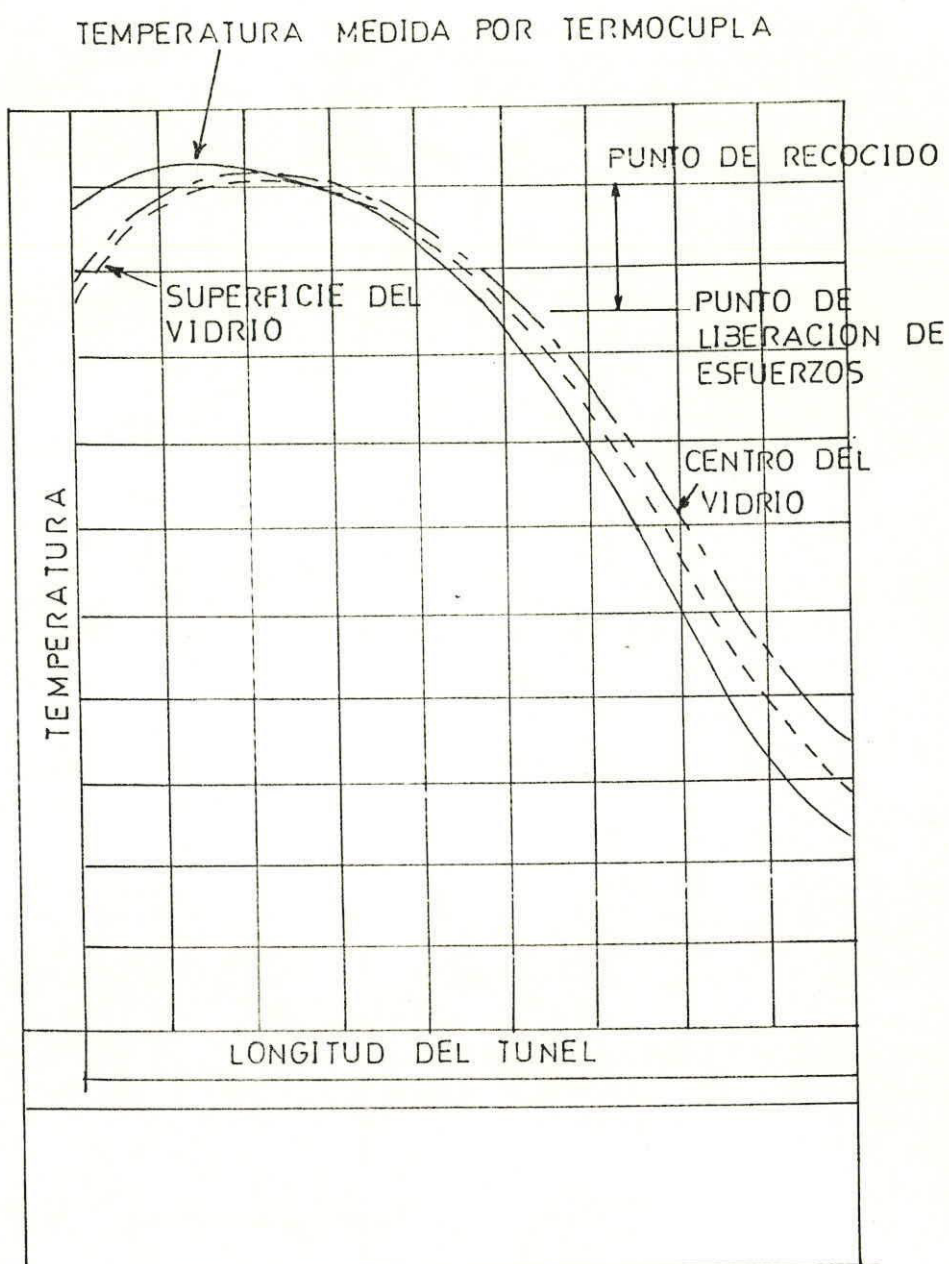


FIG. 13.3.- CURVA TIPICA DE RECOCIDO

CAPITULO II

DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. PROCESO DE FORMACION DEL ENVASE

Existen diferentes procesos de formación del envase en la industria del vidrio, entre los mismos hay diferencias en lo que se refiere a su operación mecánica, lo que los hace más o menos eficientes.

Las máquinas formadoras de envases son llamadas I.S. MACHINES, que quiere decir máquinas con secciones individuales (INDIVIDUALS SECTIONS), es decir que una máquina para formar envases puede hacer funcionar cada una de sus estaciones independientemente de las demás, y puede tener desde 5 hasta 12 estaciones.

En la figura 2.1.1 se indica un proceso de formación típico desde el alimentador hasta que el envase está en el transportador, en resumen y de manera explicativa la secuencia es la siguiente:

Canal de acondicionamiento: es donde se le da la temperatura correcta al vidrio.

Alimentador: Es un tazón refractario que alimenta o empuja al vidrio con una aguja y sale a través del orificio, cuyo diámetro depende del peso y forma del envase.

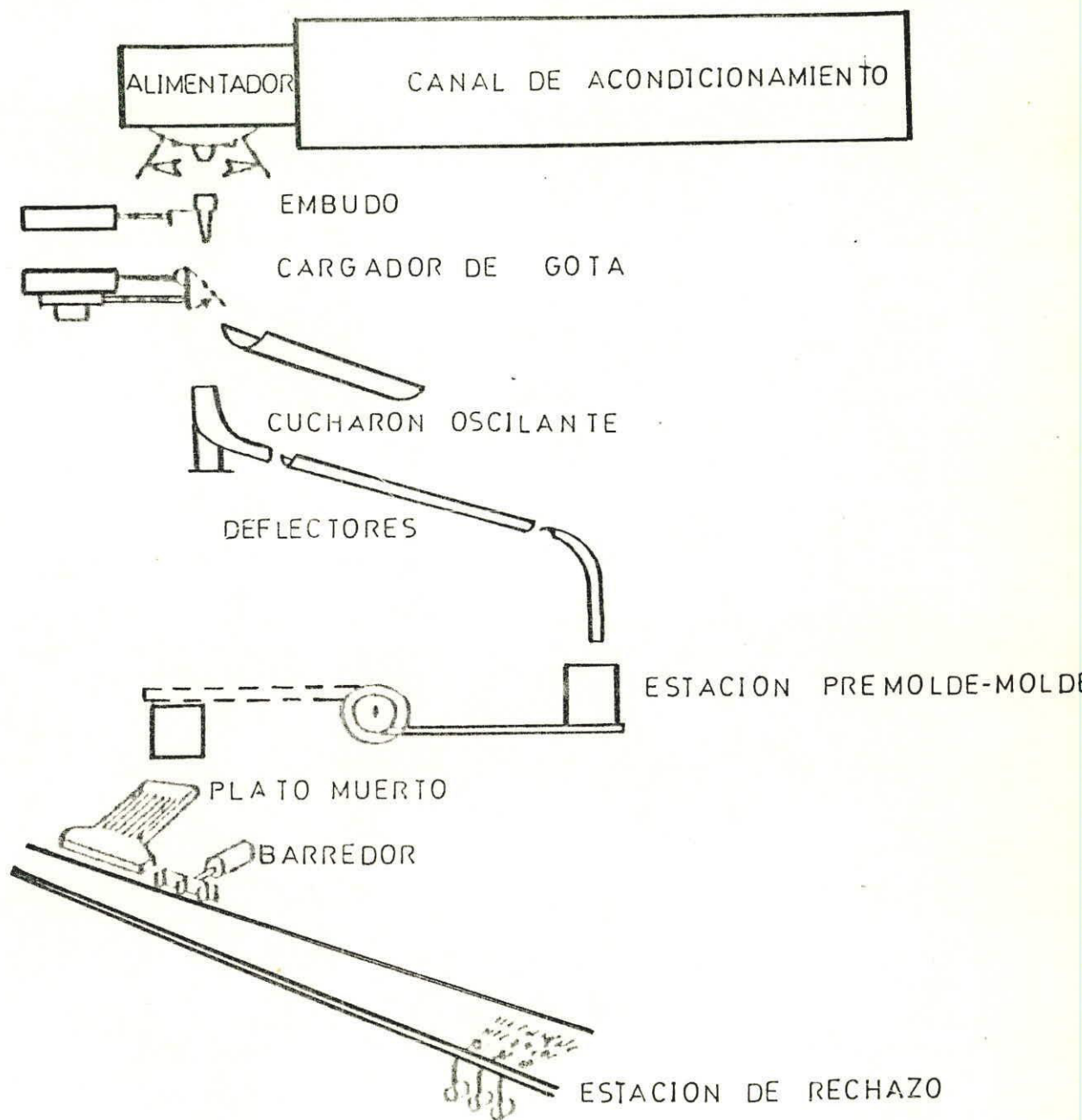


FIG. 2.1.1.- PROCESO DE FORMACION

Embudo: es accionado neumáticamente para guiar la gota verticalmente.

Cargador de gota: Permite que la gota vaya hacia los premoldes de la máquina o hacia el túnel en posición de rechazo (hacia el canal).

Cucharón oscilante: Entrega la gota a la sección correspondiente.

Deflectores: son realmente guías para deslizamiento de la gota hacia cada premolde.

Estación premolde/molde: lugar donde se forma el envase.

Plato muerto: donde el envase es puesto inmediatamente después del formado.

Barredor: Es el que empuja el envase desde el plato muerto, y lo pone en el transportador que lo lleva hacia el túnel.

Estación de rechazo: En este sitio las botellas malas pueden ser rechazadas evitando que entren en el túnel de eliminar tensiones.

2.2. DIFERENTES TIPOS DE PROCESO

Los Tipos de formación de envases de vidrio son los siguientes:

- A.- Proceso estandar soplo-soplo
- B.- Proceso "51"
- C.- Proceso prensado-soplado

PROCESO SOPLO-SOPLO O SIMPLE GOTA: (Fig. 2.2.1)

- 1.- CARGA: Una buena carga de la gota debe estar en el centro del embudo.
- 2.- SOPLO DE ASENTAMIENTO: El aire comprimido debe ser aplicado lo más pronto posible después de la carga, lo cual es importante para obtener un contacto vidrio-molde inmediatamente. En este punto se forma el acabado o el pico del envase. El tiempo del soplo de asentamiento debe ser mínimo (tiempo-presión).
- 3.- RECALENTAMIENTO VIDRIO (PARISON): Tan pronto como el soplo de asentamiento termina, la aguja debe ser retirada para permitir que el vidrio se recaliente para prepararlo para el contrasoplo. En este paso ya el vidrio formado en la boquilla

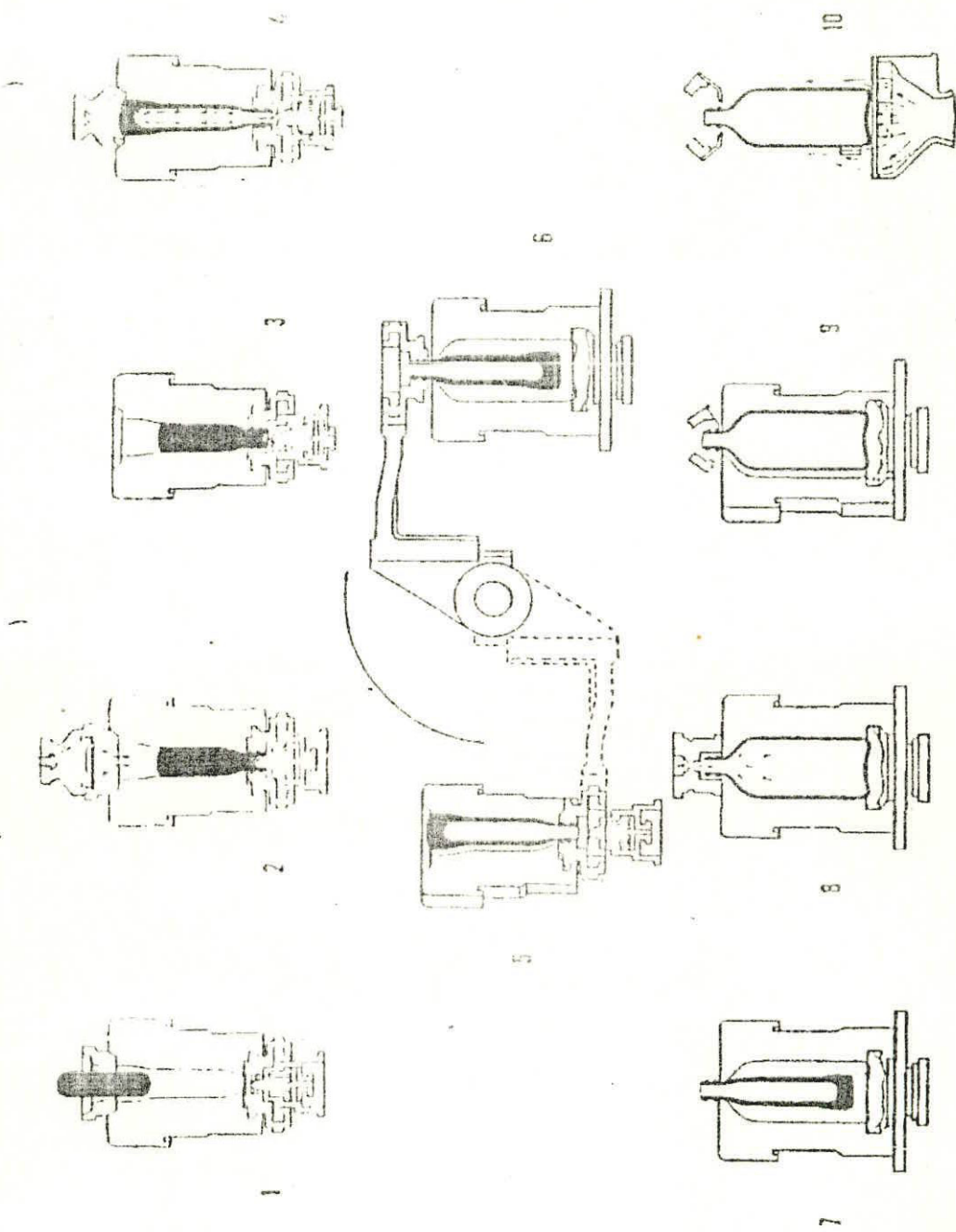


Fig. 2.2.1 Proceso Soplo Soplo

ra está prácticamente sólido.

4.- CONTRASOPLO: Este paso hace formar el premolde, es decir forma la burbuja. Si más largo es el tiempo de contrasoplo es mejor el balance de extracción de calor entre el premolde y el soplado del molde, lo que permite máxima velocidad y una buena práctica de molde caliente. La presión de aire está de acuerdo al tamaño particular del en vase, a mayor cantidad de vidrio mayor presión de aire.

5.- RECALENTAMIENTO DEL PARISON: Después del contrasoplo y antes del soplo final, el parison o burbuja de aire ya formada debe ser recalentado para que se igualen las temperaturas. Este recalen tamiento se inicia cuando el premolde se abre y termina cuando el soplo final es aplicado.

6-7.- TRANSFERENCIA AL MOLDE: Durante el tiempo que el parison es transferido del premolde al molde, se produce el recalentamiento (punto 5). La velo cidad del invertidor puede causar varios defec tos, como por ejemplo, pobre distribución, incli nación del producto, etc. Esta velocidad debe es tar de acuerdo con el peso del vidrio, con su viscosidad y forma del parison.

8.- SOPLO FINAL: Es la aplicación del aire comprimido para formar el envase. De igual forma esta presión varia con el peso del envase y su forma. Un excesivo soplo final frecuentemente causa rajaduras en el hombro, base y fondo.

9-10.- PINZAS Y ENFRIAMIENTO EN EL PLATO MUERTO:

Después que el molde final se abre, las pinzas agarran del terminado o pico del envase y lo transfieren al plato muerto. Estas pinzas deben estar perfectamente alineadas y con una fuga entre ésta y el envase de manera que permita que cuelgue libremente y que el mecanismo se mueva muy suavemente. Cuando el envase está sobre el plato muerto se produce una circulación del aire para producir enfriamiento al fondo del mismo. Después de este último paso, el envase es transferido al transportador que lo conduce al túnel para eliminarle las tensiones ya formadas.

PROCESO "51": (Figura 2.2.2)

Este proceso fue desarrollado con la finalidad de formar el terminado o boquilla del envase usando vacío en lugar del soplo de asentamiento. En este

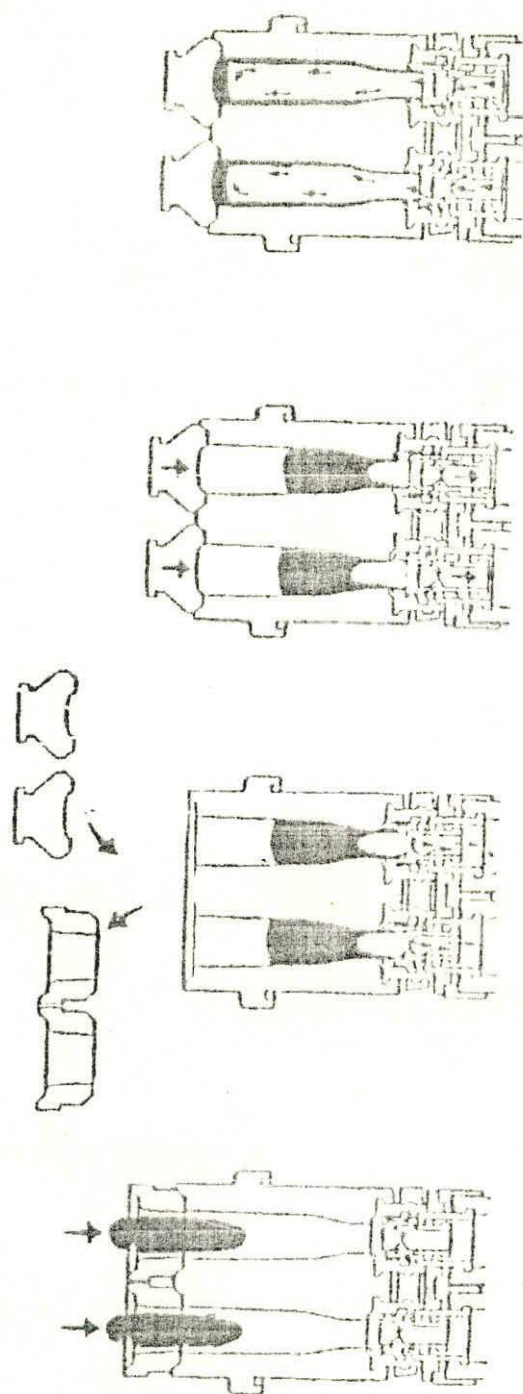


FIG. 2.2.2. - PROCESO 51: FORMACION DEL
TERMINADO POR
MEDIO DE VACIO

proceso se elimina el tiempo que es requerido en el proceso soplo-soplo entre la carga de la gota y el contrasoplo. De igual forma se consigue una mejor distribución del vidrio.

El vacío se usa exclusivamente para formar y llenar el terminado o boquilla del envase. El resto del ciclo es igual que en el soplo-soplo.

PROCESO PRENSADO-SOPLADO: (Fig. 2.2.3)

Este proceso se diferencia de los otros en que el terminado y el parison se forma por medio de una aguja que prensa el vidrio en la cavidad del premolde. Es decir no usa soplo de asentamiento ni posiciona el embudo.

Dos razones principales originan este proceso:

- 1.- Formar completamente el pico del envase con una presión de aguja razonable.
- 2.- Extraer suficiente calor del vidrio para mantener el terminado o pico dentro de las tolerancias permitidas.

El resto del ciclo es igual que en el soplo-soplo.

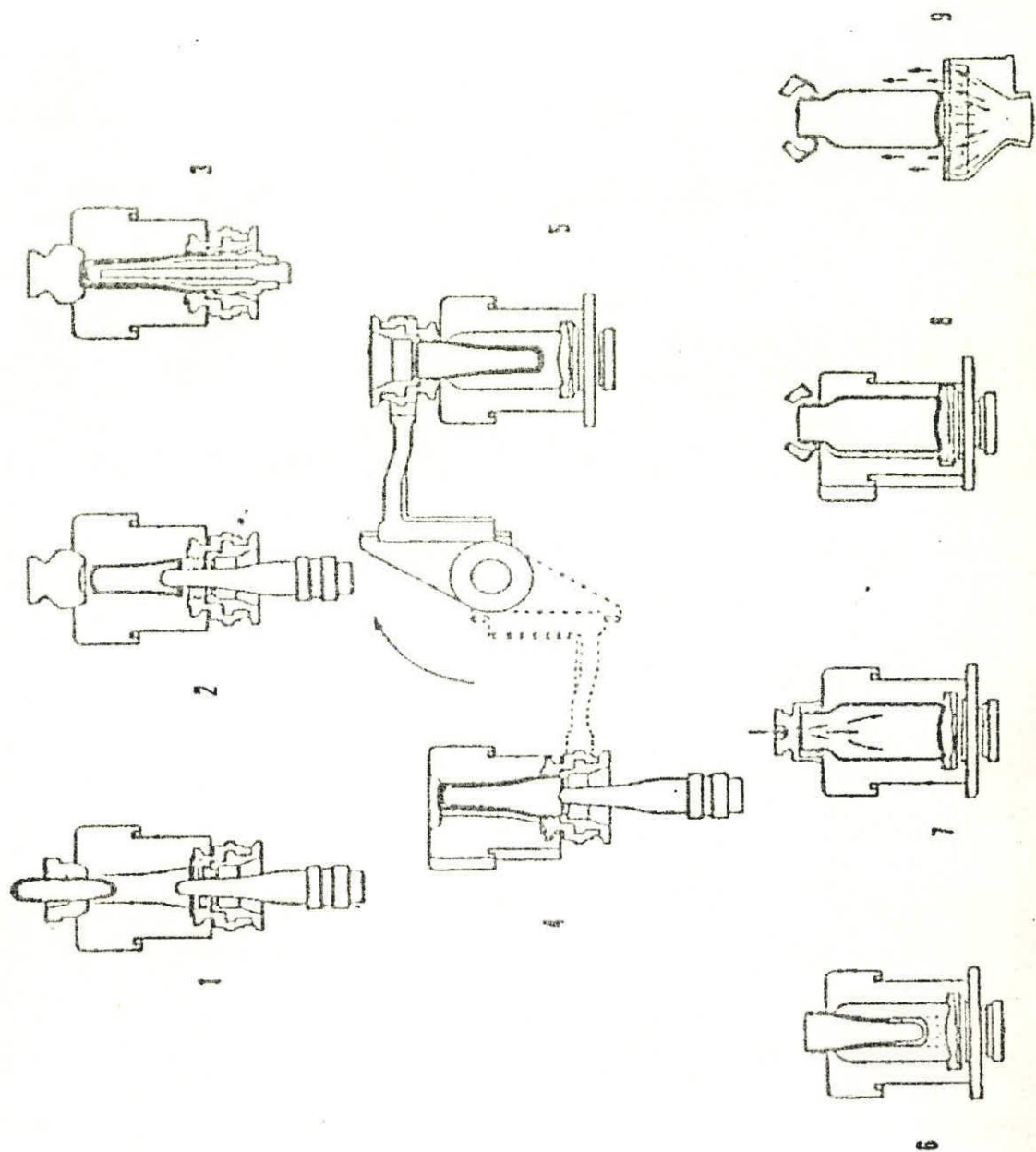


FIG. 2.2.3. - PROCESO RRENSADO-SOPLADO

2.3. CONTACTO METAL-VIDRIO

Después de que el artículo de vidrio es fabricado en el equipo de formación, debemos llevarlo hasta el túnel, lo más pronto posible, antes que se presente un excesivo enfriamiento.

En esta Planta, se ha observado que especialmente la zona del terminado (pico del envase) empieza a romperse entre la máquina y el túnel, y en este recorrido se forman tensiones y esfuerzos adicionales que es necesario eliminar dentro del mismo.

Por otro lado, la abrasión que ocurre en las estrellas de transferencia o en los contactos metálicos antes de llegar al empujador del túnel, son elementos que si no están debidamente protegidos, ayudan a la rotura de los productos.

Para disminuir estas posibilidades de abrasión que ocurren en la transferencia de la obra de la máquina hasta el túnel se ha ido desarrollando una técnica más sofisticada, tanto en los secadores de las máquinas como en la estrella de transferencia y en los empujadores que meten la botella al túnel, empleando sistemas o materiales que no producen grietas sobre el vidrio.

Adicionalmente se han hecho otros trabajos y otras mejoras en el mismo sistema del túnel para reducir los efectos de abrasión producidas por el contacto metálico de la banda sobre el vidrio que entra al túnel.

La eliminación de estos pequeños detalles y otros que causan defectos de rotura son expuestos en alternativas de solución, del próximo capítulo.

La fig. 2.3.1, ilustra el calentador de banda del túnel, el cual se usó para precalentar la malla antes de entrar en contacto con el vidrio, evitándose así los efectos nocivos del contacto del metal frío con el vidrio caliente.

En el calentador de malla se puede notar que la llama no golpea directamente a la banda sino que calienta al refractario, el cual por radiación calienta indirectamente la llama, evitando en esta forma el choque de la llama con la banda que la puede deteriorar; no solo por el exceso de calor sino porque se crean óxidos causadores de efectos de abrasión, por consiguiente productores de grietas y rotura en la obra de vidrio.

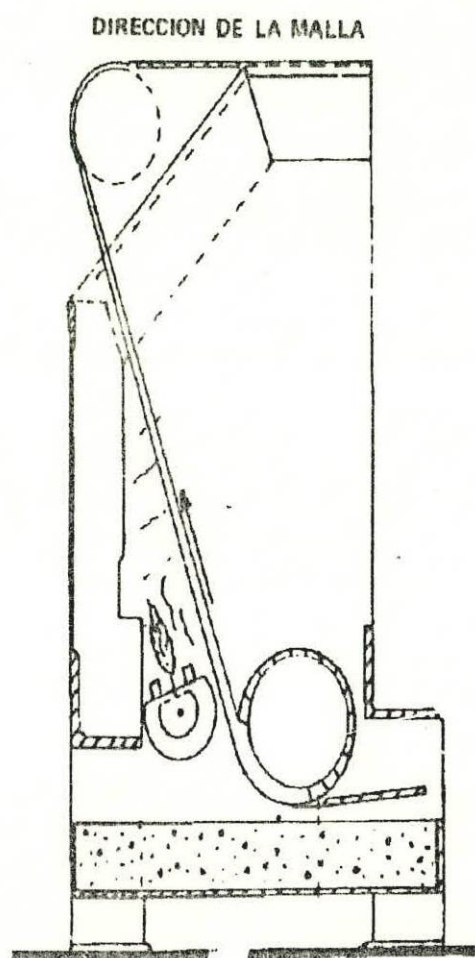


FIG. 2.31.- QUEMADOR A LA ENTRADA
PARA CALENTAR LA BANDA
Y EVITAR ROTURAS EN EL
FONDO.

2.4. ORIGEN Y FORMACION DE ESFUERZOS INTERNOS

El recocido es un proceso controlado de calentamiento y enfriamiento, diseñado para eliminar o disminuir los esfuerzos internos del vidrio, que son originados durante e inmediatamente después del proceso de formación.

Estos esfuerzos internos deben ser llevados a límites tolerables en los cuales el producto puede ser manipulado sin ningún peligro.

Un envase con esfuerzos o tensiones internas es peligroso debido a que su rotura es espontánea y su rendimiento es impredecible.

Después que una botella es formada, existen extremas variaciones en su temperatura. Su superficie está relativamente fría una vez que entra en contacto con el molde mientras su interior permanece más caliente y realmente suave en ciertos casos.

El vidrio a medida que se enfria sigue una curva que varía con la temperatura y viscosidad (ver figura 2.4.1). En el ciclo de fabricación de la botella hay seis temperaturas que son importantes:

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| TEMPERATURA DE LA GOTA | 2235°F (1224°C) |
| PUNTO DE TRABAJO | 1860°F (1014°C) |
| PUNTO DE ABLANDAMIENTO | 1345°F (729°C) |
| PUNTO DE DEFORMACION | 1140°F (615°C) |
| PUNTO DE RECOCIDO | 1015°F (546°C) |
| PUNTO DE TENSION O DEF. ELASTICA | 940°F (504°C) |

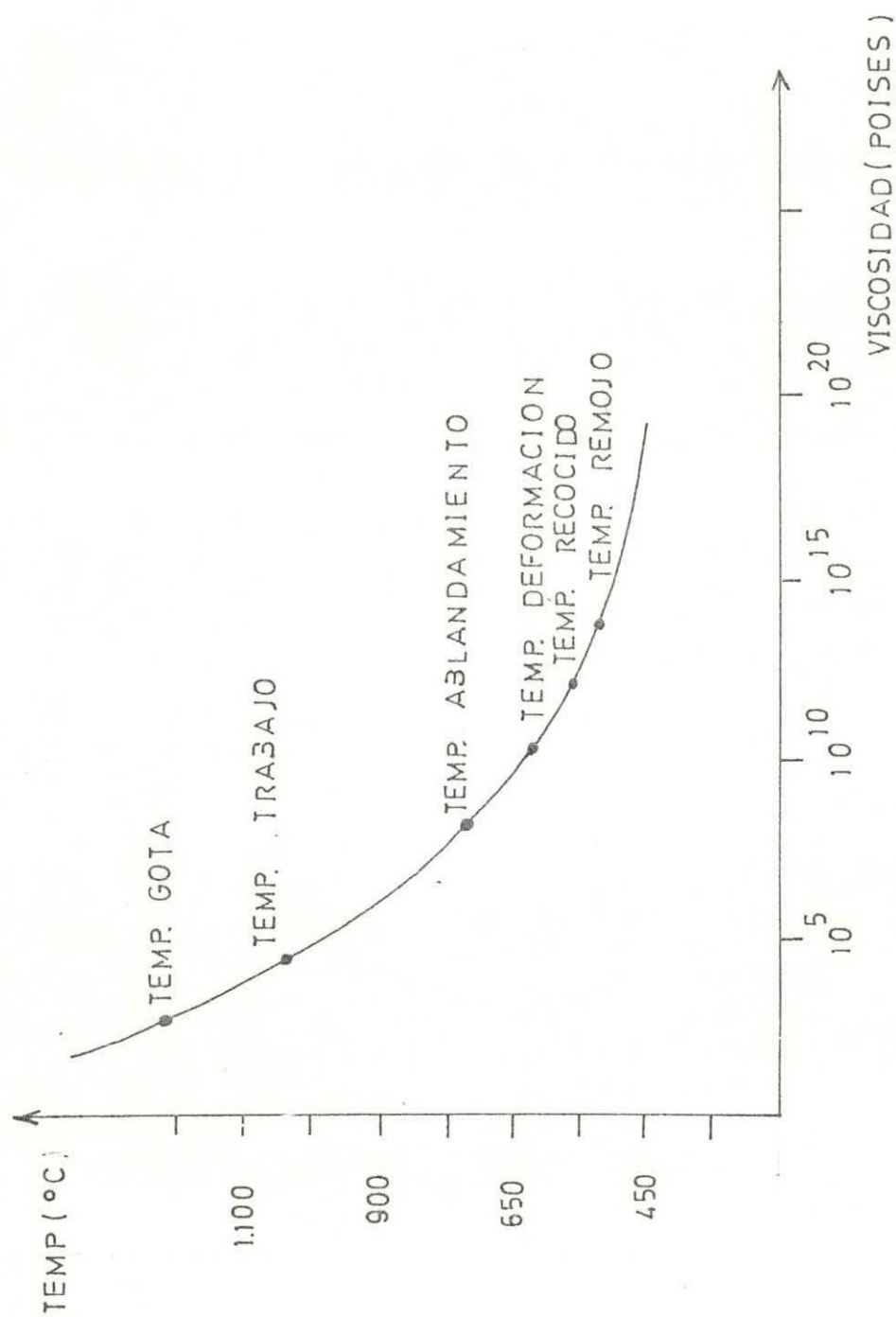


FIG. 2.4.1.- CURVA DE VISCOSIDAD - TEMPERATURA DEL VIDRIO

A diferentes temperaturas, el vidrio tiene una viscosidad específica correspondiente; por ejemplo, a la temperatura de la gota fluye libremente y es fácilmente formada y disminuye hasta su punto de ablandamiento, luego es firme entre su punto de temple y de tensión. Bajo el punto de tensión o deformación elástica, es rígido y a partir de allí su viscosidad cambia muy poco durante su posterior reducción de temperatura.

Sería muy interesante poder empacar las botellas inmediatamente después de que se formen, dejándolas enfriar en el transportador. Pero esto no es posible debido a que ya tiene formado en el interior del vidrio esfuerzos.

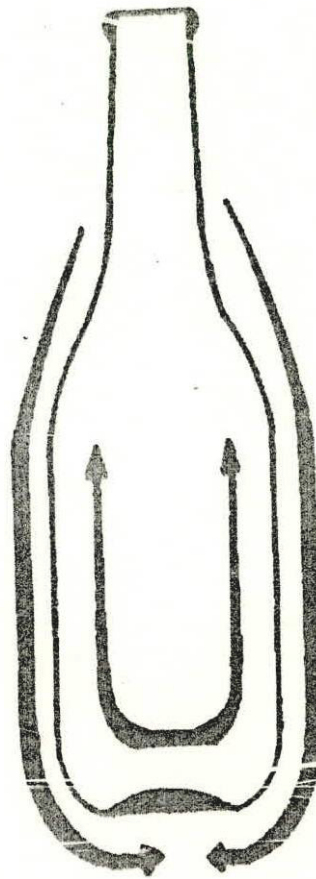
Nuestro tipo de vidrio es el denominado "VIDRIO SODA LIME", éste es, un vidrio fabricado en su mayoría con SODA ASH, arena sílice y caliza; y, este tipo de vidrio se contrae a medida que se enfria.

Como la temperatura exterior de la botella está relativamente fría, durante el enfriamiento final a la temperatura ambiente, esta parte externa ya no se contraerá; su interior estando más caliente intentará contraerse también pero será frenado por las capas exteriores, originando en las capas interiores de la botella un estado de TENSION y un estado de COMPRESION en la capa exterior.

Esta condición se puede apreciar en la figura 2.4.2,



Envase sin tensiones



Envase con tensiones

FIG. 2.4.2.- ILUSTRACION DE TENSION Y
COMPRESION EN EL ENVASE

la superficie interior es altamente vulnerable a la desintegración si la tensión es severa y se romperá muy fácilmente, aún si es ligeramente rasguñada o rascada.

Para evitar esto, es necesario recalentar rigurosamente sobre la temperatura de temple, en la cual una viscosidad inferior permitirá la eliminación de todos los esfuerzos internos, y si a ésto le sigue un enfriamiento lento a través de este rango de temple crítico, la reincidencia de formación de esfuerzos serán evitados o disminuidos a medida que la viscosidad del vidrio aumenta gradualmente hasta un punto en el cual dichos esfuerzos no pueden formarse y se muestra libre de tensiones como se indica en la parte derecha de la figura 2.4.2.

El diseño de los envases juega un papel importante en el aumento o disminución de esfuerzos internos. Una botella con una pequeña abertura tiene más probabilidad de desarrollar esfuerzos, ya que el aire de enfriamiento es restringido de entrar al interior del envase. De igual manera los fondos gruesos tienen un enfriamiento más lento que los lados y una distribución irregular del vidrio también provoca un enfriamiento irregular. La parte que se enfria al último estará bajo tensión, que es la principal causa de rotura.

La solución del problema, consiste en establecer una relación tiempo-temperatura para cada producto que se desee producir, con el fin de obtener niveles de tensiones en el vidrio dentro del nivel aceptable.

Los problemas serios de tensiones que se tuvieron, luego de un análisis de la situación fueron los siguientes:

- 1.- No había una curva temperatura-tiempo determinada para cada producto que se fabricaba.
- 2.- Rajaduras en el fondo o pico de los envases debido a un enfriamiento excesivo entre máquina y archa.
- 3.- Desconocimiento de operadores de máquina del efecto de contacto metal-vidrio en el transporte de los envases en zona caliente.

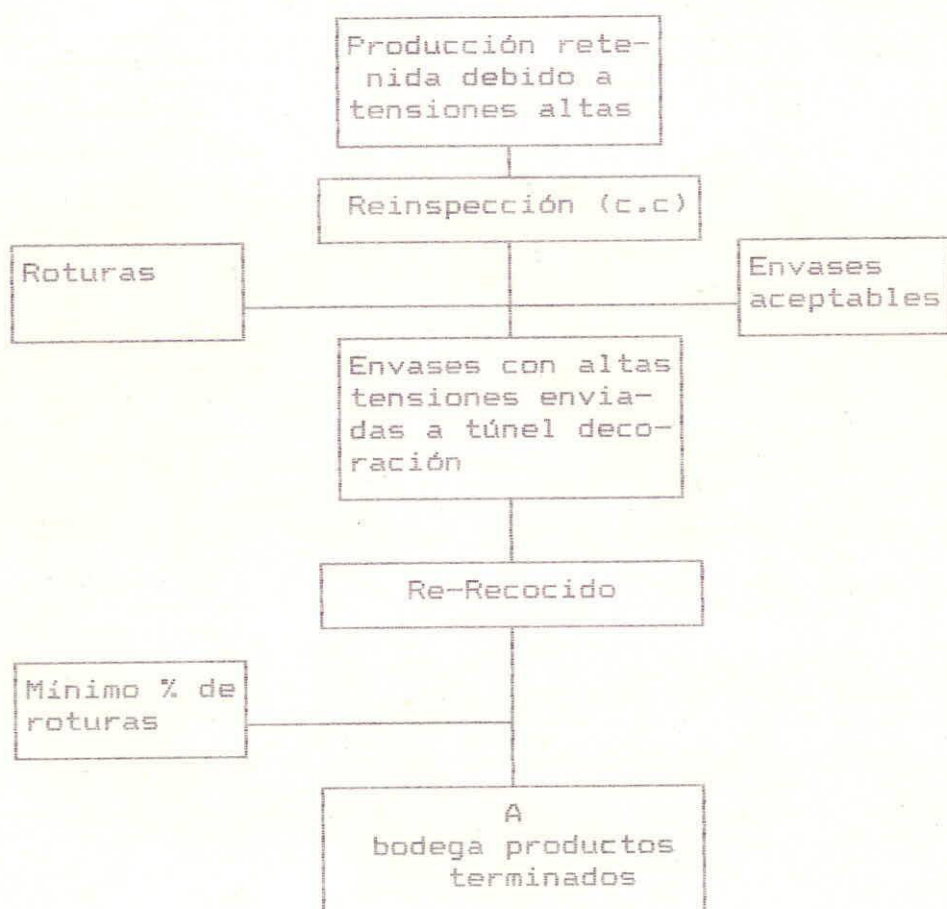
CAPITULO III

ALTERNATIVAS

3.1. ANALISIS DE LA SITUACION

Según el cuadro I del apéndice A, podemos de una manera fácil llegar a la conclusión de que en esas condiciones, el costo del producto aumentaba aproximadamente en el orden de 6 a 8%.

El retener parte de una producción por control de calidad, originaba una cadena de manipuleo en la revisión y luego en recalentar nuevamente en el túnel de decoración para eliminarle las tensiones, de la siguiente manera:



El aumento del costo de producción del producto es ocasionado por:

- a. Una atención con mayor tiempo del personal de control de calidad a dicha producción.
- b. Había necesidad de contratar personal eventual para revisión de envases.
- c. Exceso de manipuleo en los productos.
- d. Envío al túnel de decoración, luego de revisados los envases, para eliminar las tensiones.
- e. Reempaque y envío de los productos a bodega de producto terminado.
- f. Como la mayoría de los envases son decorables, estos tienen que pasar una tercera vez por el túnel de decoración.

Las alternativas que se presentaron para eliminar o minimizar este problema fueron:

- Ejercer un mejor control en la combustión de los quemadores.

- Instalar más termocuplas con sus respectivos controles para tener un gradiente de temperatura más controlado.
- Efectuar un estudio para cada artículo y establecerle la curva de recocido.
- Instalar quemadores a gas en el trayecto máquina-túnel para recalentar el terminado o pico de la botella para evitar roturas.
- Instalar quemador en la parte inferior de la entrada al túnel de recocido para recalentar la banda y evitar roturas o rajaduras en el fondo del envase.

Todos estos puntos fueron efectuados de una manera inmediata para obtener resultados, no así el estudio de las curvas de recocido, este estudio se tenía que hacer con experiencia en la planta y con los cálculos teóricos que se mencionan en la próxima sección.

Luego de este estudio de las curvas de recocido se obtuvieron los resultados expuestos y analizados en detalle en el capítulo IV.

3.2. CALCULO TEORICO Y EMPIRICO DEL ENFRIAMIENTO EN LA ZONA CRITICA.

CALCULO TEORICO

Habiamos manifestado anteriormente que el vidrio luego de su formación debe ser sometido a un recocido para eliminarle las tensiones internas que se producen inevitablemente al enfriarse.

La presencia de estas tensiones internas disminuye la resistencia mecánica y produce el fenómeno de la "BIRREFRINGENCIA", el cual no puede ser tolerado por un instrumental óptico.

El vidrio líquido se comporta como un fluido newtoniano y el vidrio sólido como un cuerpo casi ideal. Tanto en uno como en otro estado, un esfuerzo o tensión constante aplicado (σ) durante un tiempo (t) produce una deformación (ϵ).

Esta deformación consta de tres partes:

- Una deformación elástica instantánea proporcional a la tensión aplicada (según la Ley de Hooke).
- Una deformación viscosa y lenta, o flujo viscoso, de acuerdo con el comportamiento newtoniano, proporcional a la tensión aplicada, y
- Una deformación no apreciable a la temperatura ambiente (vidrio sólido) ni a altas temperaturas (vi

drio líquido), pero sí en el intervalo de transformación. Esta deformación es anelástica, es decir no cumple con la Ley de Hooke, pues además de ser proporcional a la tensión aplicada es una función compleja del tiempo de aplicación.

Estas deformaciones, se las puede resumir según ADAMS' y WILLIAMSON en la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Deformación}}{\text{Tensión}} = \frac{\epsilon}{\sigma} = A + B + C f(t) \quad (3.2.1)$$

En la cual A, B y C son constantes para cada temperatura, t es el tiempo de aplicación de la tensión y f(t) es una función que vale cero para el tiempo cero (en el instante de aplicación de la tensión) y se aproxima asintoticamente a la unidad para tiempos suficientemente grandes.

De las expresiones de la Ley de Hooke y del flujo viscoso, se deduce que:

$$A = \frac{1}{M} \implies M \text{ es el módulo elástico correspondiente}$$

$$B = \frac{1}{\eta} \implies \eta \text{ es la viscosidad}$$

Por lo tanto:

$$\frac{\epsilon}{\sigma} = \frac{1}{M} + \frac{1}{\eta} t + C f(t) \quad (3.2.2)$$

Al eliminar la tensión aplicada, la contribución de

la deformación elástica ($1/M$) se invierte espontáneamente, y la de la deformación anelástica [$C f(t)$] se recupera según la misma $f(t)$ pero en sentido inverso. En consecuencia la fracción correspondiente a la deformación no recuperable o permanente, se debe pura y exclusivamente al flujo viscoso o newtoniano producido durante el tiempo t correspondiente a la parte $(1/n) t$.

Las constantes A , B y C varían con las temperaturas de diferentes maneras:

A varía en muy pequeña medida; la deformación elástica está también presente en el líquido, aunque sea prácticamente inobservable porque es instantánea, mientras que en el flujo viscoso de mucha mayor magnitud en ese estado, no lo es.

B por el contrario varía mucho, en tanto que C varía muy poco.

En la figura 3.2.1 está graficada la curva que relaciona la viscosidad vs. la temperatura al calentar gradualmente una placa de vidrio, su viscosidad disminuye también gradualmente. En el intervalo de transformación, entre 500 y 600 °C, según el tipo de vidrio se observa la mas rápida

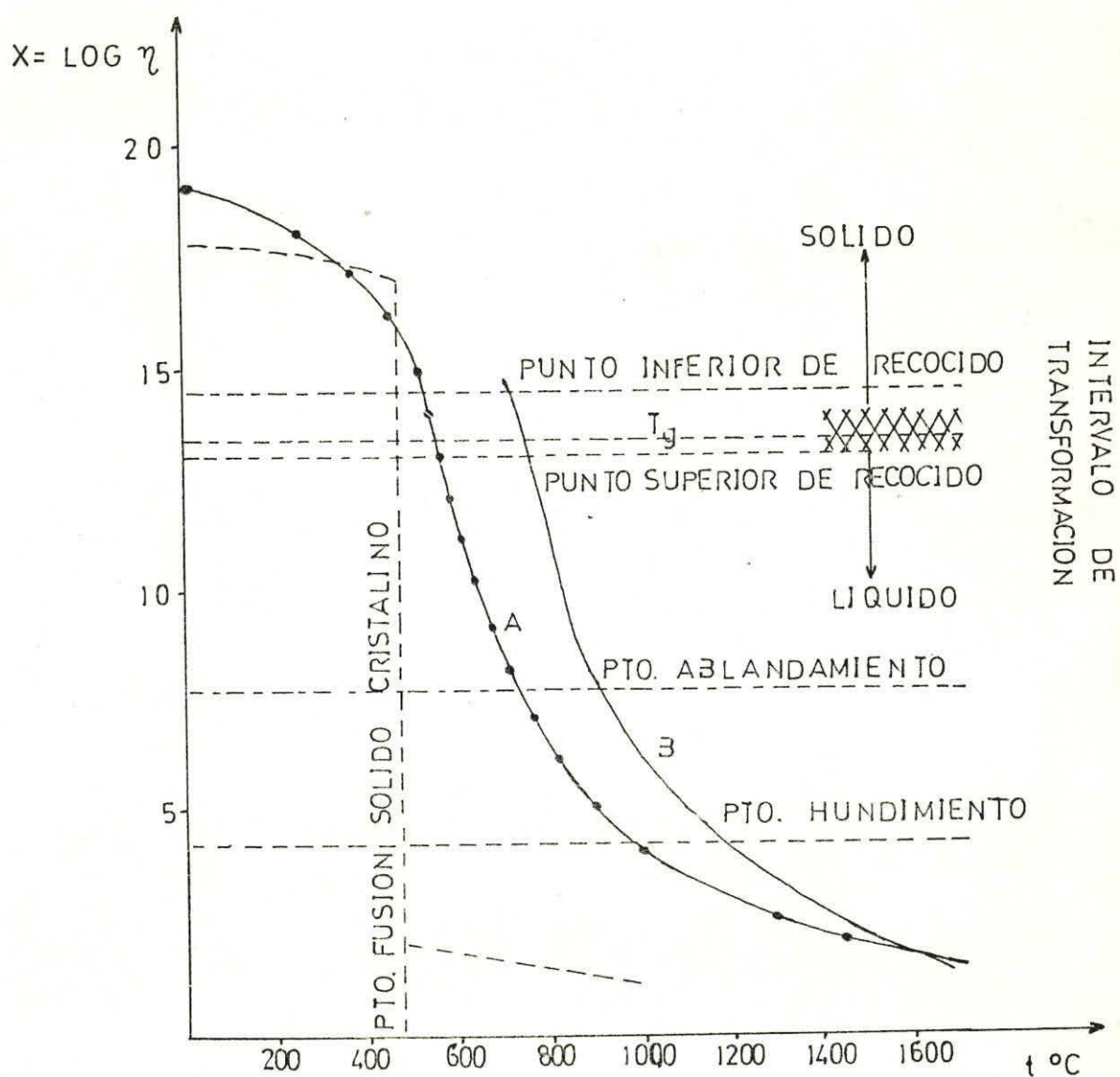


FIG. 3.2.1.-CURVA VISCOSIDAD-TEMPERATURA
PARA VIDRIO SODA - CALCICO

disminución de la viscosidad con la temperatura. Entre 600 y 700 °C se comienza a deformar bajo su propio peso y presenta propiedades plásticas.

El efecto combinado de la temperatura sobre estas constantes, explica el cambio en el carácter de la deformación al pasar del estado líquido al sólido. A temperaturas elevadas, la deformación es permanente y permite el conformado del vidrio. A bajas temperaturas, dado el elevadísimo valor de la viscosidad η (del orden de 10^{20} poises a temp. ambiente) hace a esta contribución despreciable, y el vidrio rígido se comporta como un sólido elástico ideal.

El problema mas complicado surge en el intervalo de transformación y sus zonas vecinas, que como dijimos, todas las propiedades sufren una inflexión en función de la temperatura, y el valor de la viscosidad es dependiente del tiempo.

Cuando se enfria con una cierta velocidad una pieza de vidrio se crea una diferencia de temperatura entre la superficie interna y externa. Esta última se enfria con mayor rapidez, intercambiando calor con el ambiente circundante; la superficie interna lo hace mas lentamente debido a la baja conductividad térmica del vidrio (del orden de 0.2 cal/g-°C). Cuanto mayor sea el espesor del vidrio y más rápido el enfriamiento, mayor será la diferencia de temperatura entre la superficie y el interior; en

el caso de una placa de vidrio de caras paralelas la distribución de la temperatura será aproximadamente parabólica (fig. 3.2.2).

A medida que se enfría, la diferencia de temperatura entre la capa externa e interna se mantendrá aproximadamente constante, pero cuando la temperatura externa se iguala con la ambiente, dicha diferencia comenzará a disminuir hasta que, luego de cierto tiempo, se igualará con la temperatura interna y el sistema quedará en equilibrio térmico.

Pero al mismo tiempo que se producen estas variaciones de temperatura, el vidrio, al enfriarse se contrae en una magnitud proporcional a su coeficiente de dilatación ($\approx 8.5-9.5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$); cuanto mayor sea el coeficiente de dilatación α , mayor será la contracción (lineal, no volumétrica).

Ahora bien, esta contracción produce una deformación:

$$\epsilon = \alpha l_0 \Delta T \quad (3.2.3)$$

Donde:

l_0 = Longitud inicial

ΔT = Variación de temperatura

Cuando la temperatura ha descendido por debajo de su punto de ablandamiento, la viscosidad comienza a aumentar rápidamente, impidiendo el movimiento de los átomos en la estructura del material, lo que significa que se impide la deformación.

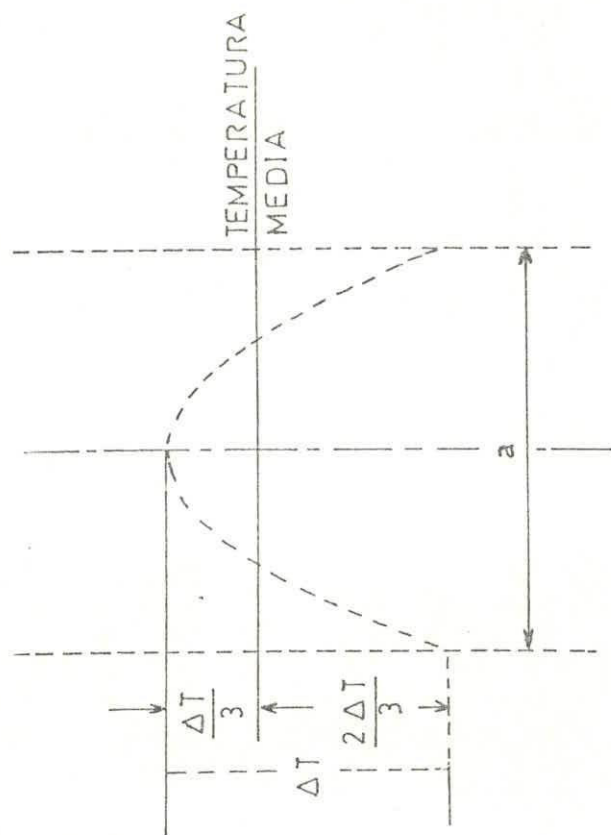


FIG. 3.2.2.-DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA EN EL ESPESOR DE UNA PLACA DE VIDRIO, ENFRIADA A VELOCIDAD CONSTANTE. a: espesor.

Como consecuencia se originan tensiones permanentes internas que no pueden relajarse.

Dado que estas tensiones son proporcionales a la deformación, se deduce que cuanto mayor es el coeficiente de dilatación y el salto de temperatura, mayores serán dichas tensiones. Cuando se llega al equilibrio térmico, con la temperatura ambiente, las tensiones alcanzan su valor máximo. Sustituyendo la ecuación 3.2.3 en la ecuación 3.2.2, tenemos:

$$\frac{\alpha l_0 \Delta T}{\sigma} = \frac{1}{M} + \frac{1}{n} t + C f(t) \quad (3.2.4)$$

Esta fórmula permitiría calcular con una muy buena aproximación cuantitativa los fenómenos descritos, si se conocieran: las constantes A, B y C, su variación con la temperatura y la $f(t)$ correspondiente a la deformación anelástica. En tal caso se podría llegar a establecer un tiempo t de enfriamiento, o sea un gradiente de temperatura $\Delta T / \Delta t$ tal, que la tensión final σ_{max} no supere un determinado valor.

Lamentablemente tal cálculo teórico no se puede llevar a cabo, ni aún aproximadamente, porque se desconocen algunos parámetros en particular la $f(t)$, y porque la viscosidad también es un parámetro dependiente del tiempo [$\eta = f'(t)$], dentro del intervalo de transformación.

Justamente los límites del intervalo de transformación se denominan "TEMPERATURA SUPERIOR DE RECOCIDO Y TEMPERATURA INFERIOR DE RECOCIDO"; correspondiendo la primera a la temperatura a la cual las tensiones se relajan (o alivian) en el orden de los minutos, y la segunda en el orden de las horas, lo cual da cuenta de la importancia fundamental que tiene para el problema de la eliminación de las tensiones; la variación de la viscosidad en este intervalo.

En 1850, en su trabajo sobre los sólidos elásticos, el famoso físico Inglés J.C. Maxwell, propuso una expresión matemática para calcular la relajación o el alivio de las tensiones, y por consiguiente el tiempo de recocido.

$$\sigma = \sigma_0 e^{-t/\tau} = \sigma_0 e^{-nt/n}$$

Siendo τ el tiempo de relajación de las tensiones, σ y σ_0 (tensiones inicial y final respectivamente). De aquí se deduce que, suponiendo que el módulo elástico no varíe con la temperatura (lo cual es aproximadamente cierto, en el sentido que varía mucho menos que n), las tensiones de una pieza de vidrio mantenida a temperatura constante, debería disminuir exponencialmente con el tiempo.

Sin embargo, entre los años 1910 y 1920 varios investigadores (entre ellos Lilie, Littleton, Adams, Williamson) demostraron experimentalmente que ello

no es así, el hecho es que maxwell partía de una expresión equivalente a:

$$\epsilon/\sigma = A + Bt$$

que difiere de la ecuación 3.2.1, en que no contiene el término correspondiente a la deformación anelástica; dado que este fenómeno no era conocido en su época.

Es importante anotar que aún no ha podido arribarse a la deducción teórica de una fórmula que exprese correctamente el fenómeno del alivio de las tensiones en el vidrio, es decir, que coincida con los datos experimentales. Esto es comprensible si se tiene en cuenta que en última instancia este fenómeno depende de una relajación estructural, que implica reordenamientos en la posición relativa de los átomos en las estructuras de los materiales vitreos, y como se trata de estructuras con un elevado grado de desorden, no existe una "Estructura Desordenada tipo ideal", que pueda tomarse como referencia.

La única posibilidad, aún hoy, que la ciencia y la tecnología del vidrio ha explotado con éxito, es llevar a cabo una aproximación empírica del problema, partiendo de los datos experimentales para cada tipo de vidrio.

CALCULO EMPIRICO DEL RECOCIDO.

En 1920, Adams y Williamson, estudiando la aplicabilidad de las ecuaciones de Maxwell, al recocido del vidrio, llegaron a la conclusión de que ellas no eran válidas para describir cuantitativamente el proceso. Partiendo del resultado de numerosos experimentos, establecieron el cumplimiento de la siguiente ley:

$$- d\sigma/dt = ABF^2 \quad (3.3.1)$$

integrando:

$$(1/\sigma) - (1/\sigma_0) = ABt \quad (3.3.2)$$

en la cual σ_0 es el esfuerzo en el tiempo $t=0$, y el producto AB puede ser considerado como una constante. La cantidad directamente medida no es σ sino δ , la diferencia del camino óptico.

Para poner la ecuación en forma conveniente para el cálculo; el valor de:

$$\sigma = \delta/Bl \quad (3.3.3)$$

Lo sustituimos en la ecuación 3.3.2:

$$\frac{1}{\frac{\delta}{Bl}} - \frac{1}{\frac{\delta_0}{Bl}} = ABt$$

lo que resulta:

$$\frac{1}{\delta} - \frac{1}{\delta_0} = A't \quad (3.3.4)$$

Donde $A' = A/l$ y δ_0 es la diferencia del camino óptico inicial; A es constante y l es la longitud

del camino óptico.

Como $\delta = \Delta n l$, donde Δn es la birrefringencia o la diferencia del camino óptico por unidad de longitud, la ecuación 3.3.4, viene a ser:

$$\frac{1}{\Delta n l} - \frac{1}{\Delta n_0 l} = A' t$$

Luego:

$$\frac{1}{\Delta n} - \frac{1}{\Delta n_0} = A t \quad (3.3.5)$$

La birrefringencia es el requisito fundamental para medir las tensiones, en la aplicación de la Ley de Adams y Williamson.

Si la tensión inicial es mucho mayor que la final, como lo es en general, el término $1/\Delta n_0$ puede ser descartado, y tenemos:

$$1/\Delta n = A t \quad (3.3.6)$$

La constante A es una función de la temperatura, T, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\log A = M_1 T - M_2 \quad (3.3.7)$$

Donde M_1 y M_2 son constantes, para vidrio como el nuestro (soda-calcico) $M_1 = 0.029$ y $M_2 = 17.35$, T debe estar en grados centígrados.

Usando la ecuación 3.3.7, se puede calcular la constante A para cualquier temperatura en la región o rango de recocido.

Adams encontró que para el caso más simple, la temperatura adecuada de recocido de una placa de

vidrio común, la constante A tiene un valor de $1/260$ a^2 , siendo a el semiespesor de la placa ($2a$, el espesor total en centímetros).

Si sustituimos el valor de $A = 1/260a^2$ en la ecuación 3.3.7, podemos encontrar la temperatura de recocido del vidrio para cualquier espesor.

Aplicando la fórmula, se encuentra que para obtener un valor final de la birrefringencia igual a $(\Delta n)_m$, ese vidrio debe mantenerse a la temperatura T, durante un tiempo en minutos igual a:

$$t_m = 520a^2 / ((\Delta n)_m)$$

Donde $(\Delta n)_m$ es la tensión final deseada.

Después de mantener el vidrio a la temperatura de recocido por un tiempo de t_m minutos, el vidrio es entonces enfriado con una velocidad inicial de:

$$R = ((\Delta n)_m) / 13a^2$$

Un nivel permisible de tensión final $(\Delta n)_m$, de acuerdo a resultados experimentales es de $10 \mu\mu/\text{cm}$ (milimicrones por centímetro), para nuestro tipo de vidrio (soda-calcico).

Por ejemplo:

Deseamos establecer una curva de recocido para la botella de tropical, que tiene un espesor promedio de 0.635 cm ($a = 0.3175 \text{ cm}$), y deseamos determinar:

- a) Cual debe ser la temperatura de recocido
- b) El tiempo que debe permanecer a dicha temperatura
- c) Cual debe ser la velocidad de enfriamiento en el

rango o intervalo de recocido.

Solución:

a) Para hallar la temperatura de recocido, aplicamos la ecuación 3.3.7:

$$\log A = M_1 T - M_2$$

$$M_1 = 0.029$$

$$M_2 = 17.35$$

Calculamos A:

$$A = 1/(260 a^2)$$

$$A = 1/[260(0.3175)^2] = 1/26.21 = 0.03815$$

Reemplazamos:

$$\log 0.03815 = 0.029 T - 17.35$$

$$T = (17.35 + \log 0.03815)/0.029 = 549 ^\circ\text{C}$$

b) El tiempo que el envase debe permanecer a esta temperatura de 549 °C es:

$$t_a = 520 a^2 / (\Delta n)_a$$

$$t_a = 520(0.3175)^2 / 10 = 5.24 \text{ minutos}$$

c) La velocidad de enfriamiento es:

$$R = (\Delta n)_a / 13a^2$$

$$R = 10/13(0.3175)^2 = 7.63 ^\circ\text{C/min}$$

Con estos tres cálculos, se puede hacer la curva de recocido en el rango o intervalo crítico. A partir del punto de eliminación de tensiones, el enfriamiento debe ser rápido y bajo control.

La tabla 1 mostrada a continuación indica los datos de recocido para el vidrio ordinario. ($M_1 = 0.029$ y $M_2 = 17.35$).

| ESPESOR | | TEMP. REC. | TIEMP. REC. | VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO °C/min | | | | | | | VELOCIDAD CONSTRUC. |
|---------|------|------------|-------------|----------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|--------|------------------------|
| | PULG | °C | MIN | INICIAL | 10°C | 20°C | 30°C | 40°C | 50°C | °C/min | |
| | | 579 | 0.74 | 54.30 | 65.20 | 81.5 | 103.0 | 136.0 | 179.0 | 54.30 | |
| | | 570 | 1.31 | 30.50 | 36.60 | 45.8 | 58.0 | 76.3 | 101.0 | 30.50 | |
| | | 558 | 2.95 | 13.60 | 16.30 | 20.4 | 25.8 | 34.0 | 44.9 | 13.60 | |
| | | 553 | 4.01 | 10.00 | 12.00 | 15.0 | 19.0 | 25.0 | 33.0 | 10.00 | |
| | | 549 | 5.24 | 7.60 | 9.16 | 11.5 | 14.4 | 19.0 | 25.1 | 7.60 | |
| | | 543 | 8.19 | 4.90 | 5.90 | 7.4 | 9.3 | 12.2 | 16.2 | 4.90 | |
| | | 537 | 11.96 | 3.34 | 4.00 | 5.0 | 6.3 | 8.4 | 11.0 | 3.34 | |

TABLA 1.- VALORES DE RECOCIDO DE VIDRIO SODA-CÁLCICO.
 LA TENSION PERMANENTE FINAL ES DE 10 uu/cm.
 LA COLUMNA DE LA DERECHA DA EL ENFRIAMIENTO
 CONSTANTE QUE DEBE MANTENERSE EN EL RANGO
 DE RECOCIDO PARA OBTENER UNA TENSION PERMA-
 NENTE DE 10 uu/cm.

3.3. ELABORACION DE CURVAS PARA DISTINTOS ESPESORES DE ENVASE DE PRODUCCION.

Con los cálculos obtenidos en el punto 3.2 se pueden construir facilmente las curvas de recocido para cada tipo de botella y para cada espesor diferente. De todos los artículos producidos en la planta, los hemos agrupado en tres grandes grupos para tres tipos de espesores promedio:

1/8 " (3,175 mm)

1/4 " (6,35 mm)

3/8 " (9,525 mm)

De cada uno de estos se hicieron las curvas correspondientes, como se indica en las curvas 1, 2 y 3 del apéndice B.

Es muy importante señalar que los cálculos efectuados para cada espesor son una gran ayuda para iniciar el programa de recocido para un determinado producto. Lo que realmente es necesario, es que durante una corrida se hagan las pruebas correspondientes y de la experiencia sacar las más realistas.

Las tres curvas presentadas son el resultado de la experiencia tanto en el túnel de recocido de producción como en el túnel de decoración.

3.4. NECESIDAD DE RECOCER EL VIDRIO.

Hemos ya señalado que es de extrema importancia el recocido del vidrio. Para reforzar esta aseveración vamos a exponer lo siguiente:

F. Twyman creó un aparato para efectuar experimentos y determinó la temperatura de recocido de diferentes tipos y espesores de vidrio.

Estos experimentos demostraron que si un vidrio particular con una temperatura de 500°C , consigue un recocido satisfactorio en una hora, a una temperatura de 420°C tomaría aproximadamente 1000 horas para el mismo grado de recocido. Con esta prueba demostró la desventaja de no calentar el vidrio a una temperatura lo suficientemente alta, por encima de su punto de recocido.

Desde otro punto de vista, si la temperatura se lleva demasiado alta, hay grandes inconvenientes. En primer lugar, el vidrio puede llegar a ser muy blando, de manera que se puede deformar. En segundo lugar hay una pérdida de tiempo en el calentamiento innecesario y luego en permitir que la temperatura caiga a otra inferior que es la suficiente y correcta.

Podemos añadir un tercer inconveniente : es muy necesario no solo recocer el vidrio, sino observar que la falla de recocido no sea reintroducida de

nuevo cuando la temperatura está descendiendo.

Para medir las tensiones se usa el polariscopio, que es un instrumento que revela el grado de recocido, osea si las tensiones son satisfactoriamente comerciales. (Fig. 3.4.1).

El polariscopio funciona de la siguiente manera:

Se conecta la fuente de luz y se fija la posición del polarizador, se gira el analizador (el segundo polarizador) hasta que se tiene la extinción total de la luz (posición de polarizadores cruzados). Se coloca la botella o el envase entre el analizador y el polarizador y se lo rota lentamente. Si el vidrio no está tensionado no se observará paso de luz, si hay tensiones o zonas tensionadas estas se verán iluminadas, obteniendose el máximo de iluminación para una posición y para la correspondiente a 90° . Las zonas iluminadas corresponden a tracción o compresión, no siendo posible determinar por este método el tipo de tensión a la que está sometida.

En la industria del vidrio y en plantas como esta, se usa el polariscopio "blanco y negro" (observar figura 3.4.2), el cual para poder determinar el grado de tensión o de recocido utiliza un patrón denominado "disco estandarizado" indicado en la figura 3.4.3.

En las figuras 3.4.4, 3.4.5, 3.4.6 y 3.4.7 se indican diferentes grados de tensiones.

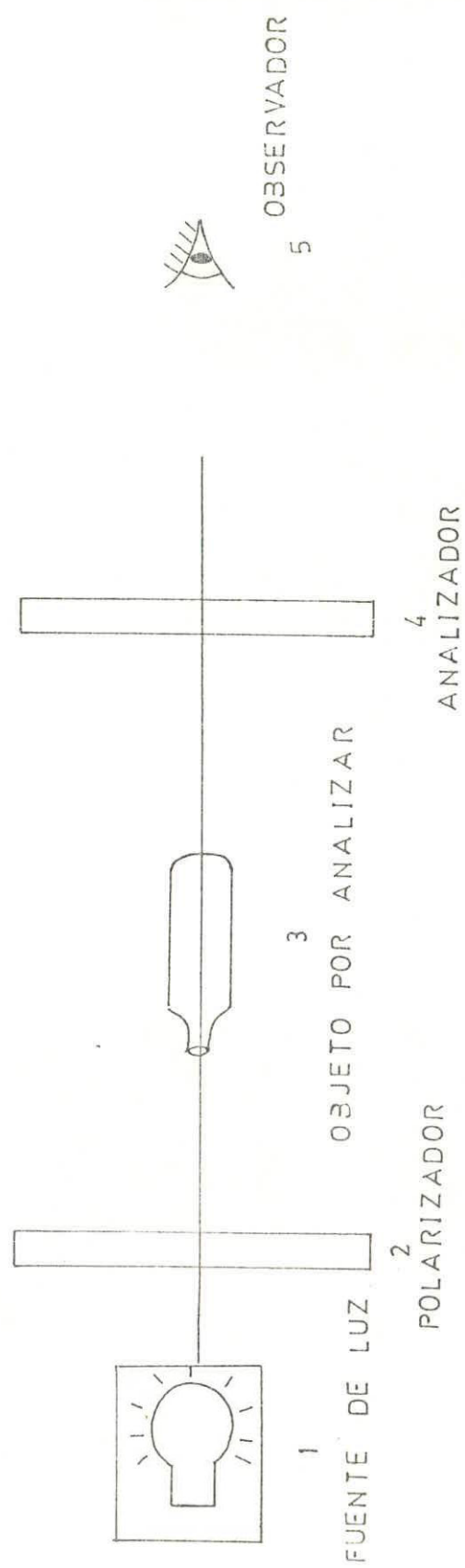


FIG. 34.1.- ESQUEMA DE UN POLARISCOPIO

El uso del "disco estandarizado" fue adoptado desde hace muchos años atrás por la asociación de fabricantes de envases de vidrio de América y también fue adoptado como un procedimiento estandar por la ASTM, especificación C148-40T.

Cada conjunto de disco estandar indica diferentes niveles de tensiones:

| | |
|------------------------------------|---------|
| DISCO # 1: TENSIONES LEVES | < 1 |
| DISCO # 2: TENSIONES ACEPTABLES | < 2 > 1 |
| DISCO # 3: TENSIONES NO ACEPTABLES | < 3 > 2 |
| DISCO # 4: TENSIONES PELIGROSAS | < 4 > 3 |
| DISCO # 5: TENSIONES RECHAZADAS | < 5 > 4 |



FIG. 34.2.-POLARISCOPIO

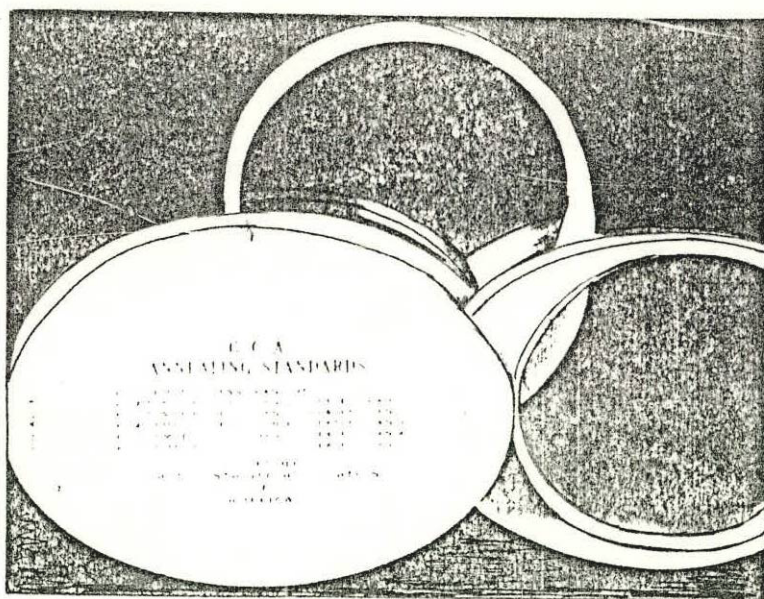


FIG. 34.3.- DISCO ESTANDARIZADO

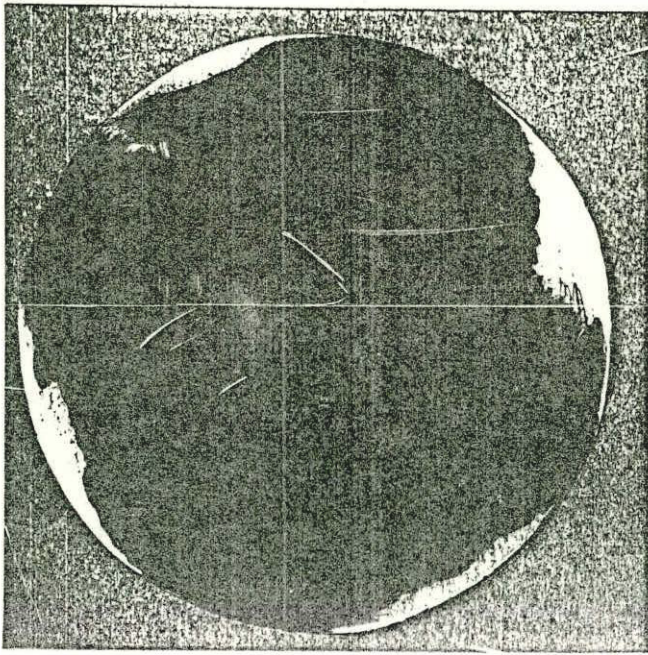


FIG.34.4.- DISCO 1

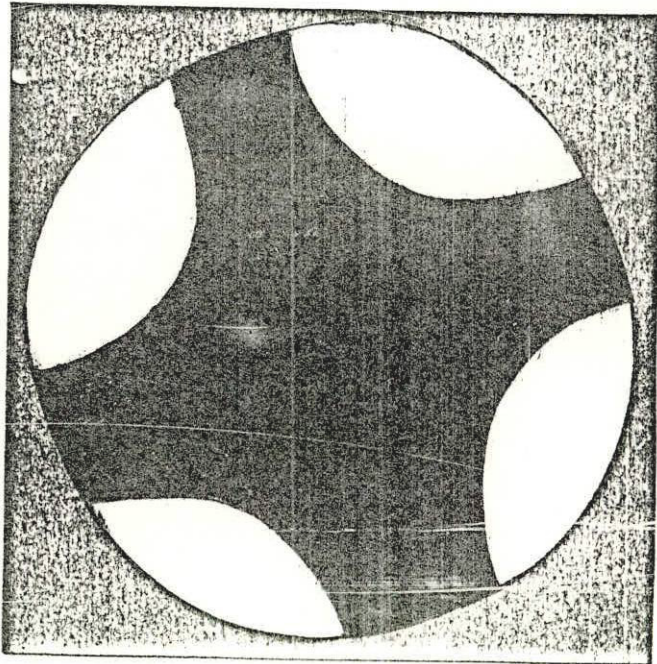


FIG. 34.5.- DISCO 2

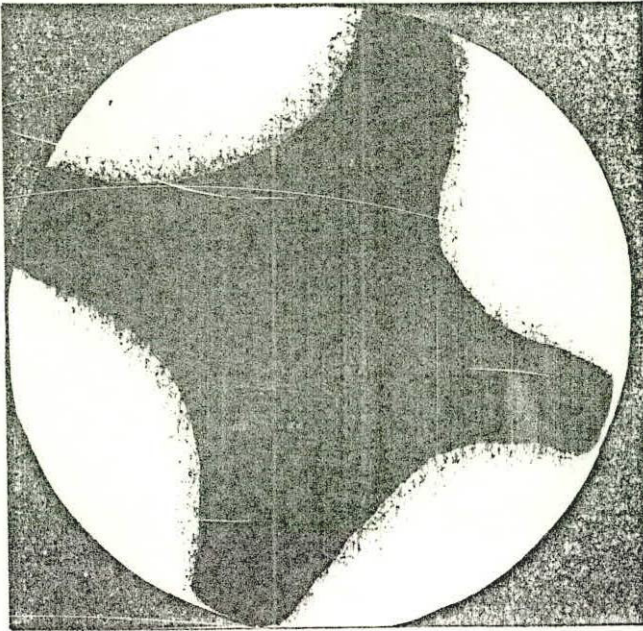


FIG. 34.6.- DISCO 3

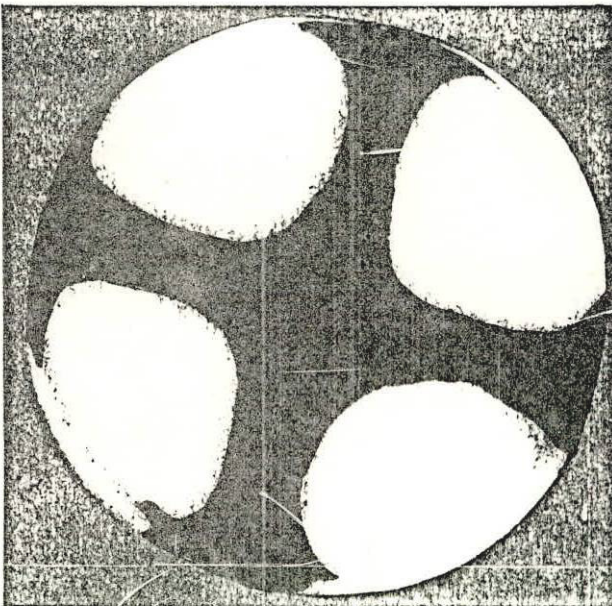


FIG. 34.7.- DISCO 4

CAPITULO IV

RESULTADOS

Una vez que se hizo el estudio correspondiente para disminuir el porcentaje de producción retenida por el defecto de "envases con tensiones altas" se procedió a llevar a cabo y en cada túnel de recocido, el seguimiento respectivo de las curvas de temperatura-tiempo.

Este control se llevó a cabo, con ciertos accesorios complementarios e importantes; por ejemplo se colocaron termocuplas adicionales en el túnel N°1 y N°2, el túnel N°3 tenía ya instaladas todas las termocuplas con sus controles respectivos.

Vamos a analizar y a comparar los resultados obtenidos, y que se indican en el cuadro II versus los del cuadro I.

Los resultados del cuadro I, se refieren a cifras reales correspondientes a un mes cualquiera y tomados antes de establecer los patrones; y los del cuadro II son posteriores al estudio efectuado.

A continuación vamos a ir explicando y comparando cada columna; pero antes, es importante señalar que la producción que se indica en estos dos cuadros no tienen los mismos moldes o envases, por obvias razones.

MOLDE N° : Es el tipo de molde o envase en producción.

DESCRIPCION: Identifica el tipo de gaseosa o cualquier

otro embotellador.

MAQUINA: Señala en que máquina se produce el correspondiente molde.

PESO DEL ENVASE: Es el peso en gramos, del vidrio. Tiene una tolerancia por lo general de ± 10 gramos.

VELOCIDAD: Indica la velocidad en botellas por minuto que operara la máquina.

DIAS DE PRODUCCION: Son los días en que un molde estará en máquina, una vez cumplido el programa de producción para cada item.

PRODUCCION IDEAL: Esta cifra es calculada en base a que se espera un rendimiento ideal de máquina de 95%. Es calculado de la siguiente manera:

$$\text{Rend. ideal} = [\text{veloc. (bot/min} \times 1440 \text{ min} \times \text{días prod.)} \times 0.95]$$

PRODUCCION REAL: Es la producción empacada, con la finalidad de comparar con la producción ideal.

EFICIENCIA: Es el rendimiento real de la máquina, osea, es el factor de dividir la producción real con la producción al 100%. Se calcula así:

$$\text{Eficiencia real} = \frac{\text{Producción real}}{\text{bot/min} * 1440 * \text{días de prod.}} * 100$$

PRODUCCION RETENIDA: (Altas tensiones) Es la cantidad de botellas que control de calidad retiene por el defecto de tensiones altas.

% PRODUCCION RETENIDA: Es el porcentaje correspondiente al punto anterior.

$$\% \text{ Producción ret.} = \frac{\text{Prod. retenida}}{\text{Prod. real}} * 100$$

PRODUCCION RECUPERADA: Es lo que se recupera como producto semiterminado o terminado listo para venta.

% PRODUCCION RECUPERADA: Es el porcentaje correspondiente a la cifra de producción recuperada:

$$\% \text{ Producción rec.} = \frac{\text{Prod. recuper.}}{\text{Prod. real}} * 100$$

PERDIDA: Es la cantidad de envases no recuperables.

% DE PERDIDA: Es el porcentaje correspondiente:

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{\text{Pérdidas}}{\text{Prod. real}} * 100$$

Se puede analizar individualmente la eficiencia de cada molde y llegaremos a la misma conclusión como si lo hicieramos con los totales; de manera que solo tomaremos los totales de cada cuadro y de la columna que realmente nos interesa.

Así por ejemplo, tenemos que en el cuadro I, hay una producción retenida de 368.340 envases contra otra de 124.700 del cuadro II, es decir hay una reducción de 243.640 unidades, que es muy significativa, ya que esta diferencia no tuvo un costo adicional en el proceso de fabricación.

Por otro lado, si comparamos los porcentajes de producción retenidos entre ambos cuadros, este porcentaje fue reducido a la tercera parte (9.8% a 3.05%); es decir 3:1.

De igual manera las pérdidas, sean estas por roturas instantáneas, manipuleo, etc. fueron reducidas "considerablemente", 91270 envases del cuadro I contra 10.400 del cuadro II.

Podemos decir sin discusión que el trabajo efectuado tiene su justificación en base a la obtención de buenos resultados que se reflejan en los costos de producción y sobre todo en la calidad del envase.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

Las conclusiones que podemos sacar del presente trabajo las podemos resumir de la siguiente manera:

- El estudio efectuado tuvo su plena justificación al haber logrado establecer las curvas de Temperatura-tiempo para distintos espesores.
- Los resultados obtenidos mejoraron la productividad, en un promedio de 6.0 %.
- Se eliminó la contratación de personal eventual y el excesivo manipuleo a que se sometían los envases.
- El personal de control de calidad se pudo dedicar a otros controles de proceso, pues este defecto de altas tensiones en el envase, los obligaba a dedicar más tiempo al mismo.
- El departamento de decoración pudo operar casi exclusivamente en sus funciones sin distraer personal para re-recocer envases.
- Todo el personal implicado en este control se interesó mucho en el mismo, ya con conocimiento de causa.

- Se mejoró la calidad del envase.

RECOMENDACIONES:

De entre las principales recomendaciones, podríamos citar las siguientes:

- Mayor implementación de controles automáticos en este proceso y en otros importantes de la planta.
- Entrenamiento continuo y programado del personal de supervisión y mandos medios.
- Designar a una persona responsable por cada turno, de llevar el control de los tuneles de recocido según el tipo de envase.
- Incentivo económico o de otra naturaleza para aumentar la motivación del personal, especialmente en horas que no trabaja el departamento técnico.
- Exigir círculos de calidad de 5 a 10 minutos diarios para analizar problemas de Ingeniería y de Producción.
- Brindar más oportunidades para que el personal de Ingeniería, se concentre en la investigación del proceso, ya que es muy complejo.

APENDICE A

CUADRO I

CONTROL DE PRODUCCION (ANTES DEL ESTUDIO DE CURVAS DE RECOCIDO)

| MOLDE N ° | DESCRIP- CION | MAQUINA | Peso vidrio (g) | velocidad bot/min | Dias de producc. | Producc. ideal 95% | Producc. real | Eficienc. % | Prod. rel tensiones altas | Producc. recuper. | Perdida (unid.) | % perdida | | |
|--------------|------------------|---------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|----------------------|--------------------|--------------|--------|-----|
| 040 | PEPSI 1/2 | IS-1 | 425 | 36 | 30 | 1'477,740 | 1'368,576 | 88 | 120,186 | 9,2 | 78,382 | 5,7 | 41,804 | 3,0 |
| 050 | PEPSI FAM | IS-2 | 860 | 22 | 10 | 300,960 | 272,448 | 86 | 32,529 | 12,7 | 20,490 | 7,9 | 12,039 | 4,7 |
| 001 | GUITIG PE | IS-2 | 250 | 40 | 8 | 437,760 | 387,072 | 84 | 40,642 | 10,5 | 34,836 | 8,9 | 5,806 | 1,5 |
| 037 | INCA COLA | IS-2 | 425 | 30 | 12 | 492,480 | 414,720 | 80 | 45,620 | 11,0 | 37,325 | 9,0 | 8,295 | 2,0 |
| 010 | TROPICAL | IS-3 | 400 | 42 | 15 | 861,840 | 771,120 | 85 | 61,690 | 8,0 | 50,123 | 6,5 | 11,567 | 1,5 |
| 002 | GUIT. 1/2 | IS-3 | 370 | 42 | 7 | 402,192 | 347,155 | 82 | 38,187 | 11,0 | 32,980 | 9,5 | 5,207 | 1,5 |
| 101 | FRUIT FAM | IS-3 | 860 | 24 | 8 | 262,656 | 218,420 | 79 | 29,486 | 13,5 | 22,934 | 10,5 | 6,552 | 3,0 |
| TOTALES | | | | | 90 | 4'235,628 | 3'779,511 | 84,8 | 368,340 | 9,8 | 277,070 | 7,4 | 91,270 | 2,4 |

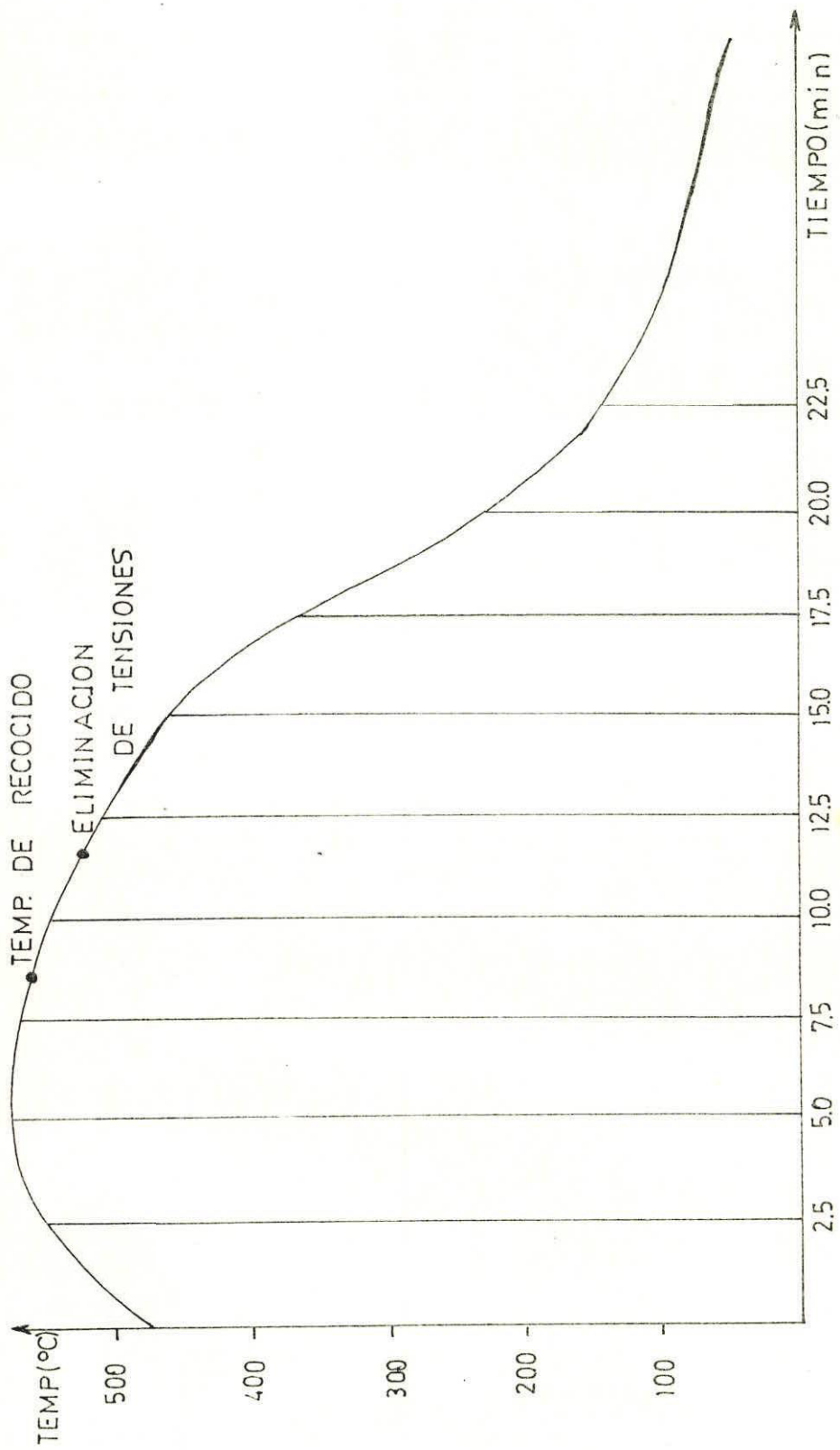
CUADRO II

CONTROL DE PRODUCCION (DESPUES DEL ESTUDIO DE CURVAS DE RECOCIDO)

| MOLDE N° | DESCRIP- CION | MAQUINA | Peso vidrio (g) | velocidad bot/min | Dias de producc. | Producc. ideal 95% | Producc. real | % Producc. real | tensiones altas | % Prod. ret. | PRODUC. RECUPER. | % PRODUC. RECUPER. | PERDIDA (UNID) | % PERDIDA |
|-------------|------------------|---------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|-------------------|--------------|
| 009 | COCA FAN. | IS-1 | 860 | 22 | 18 | 541.728 | 518.918 | 91 | 16.200 | 3.0 | 14.800 | 2.8 | 1.400 | 0.20 |
| 060 | SAL TOMAT | IS-2 | 250 | 40 | 12 | 656.640 | 622.080 | 90 | 29.500 | 4.5 | 27.000 | 4.3 | 2.500 | 0.20 |
| 015 | BARR OKEY | IS-3 | 500 | 40 | 8 | 437.760 | 414.720 | 90 | 11.300 | 2.6 | 10.500 | 2.5 | 800 | 0.10 |
| 012 | STOCK | IS-2 | 370 | 38 | 19 | 987.696 | 956.505 | 89 | 29.600 | 3.0 | 28.200 | 2.9 | 1.400 | 0.10 |
| 040 | GUIT. MED | IS-3 | 425 | 42 | 23 | 1'321.488 | 1'293.667 | 93 | 26.400 | 2.0 | 23.500 | 1.8 | 2.900 | 0.20 |
| 020 | FRUIT FAN | IS-1 | 860 | 22 | 13 | 391.428 | 370.656 | 90 | 11.700 | 2.0 | 10.300 | 2.8 | 1.400 | 0.40 |
| | | | | TOTALES: | 93 | 4'336.740 | 4'076.546 | 89.3 | 124.700 | 3.05 | 104.800 | 2.6 | 10.400 | 0.45 |

APENDICE B

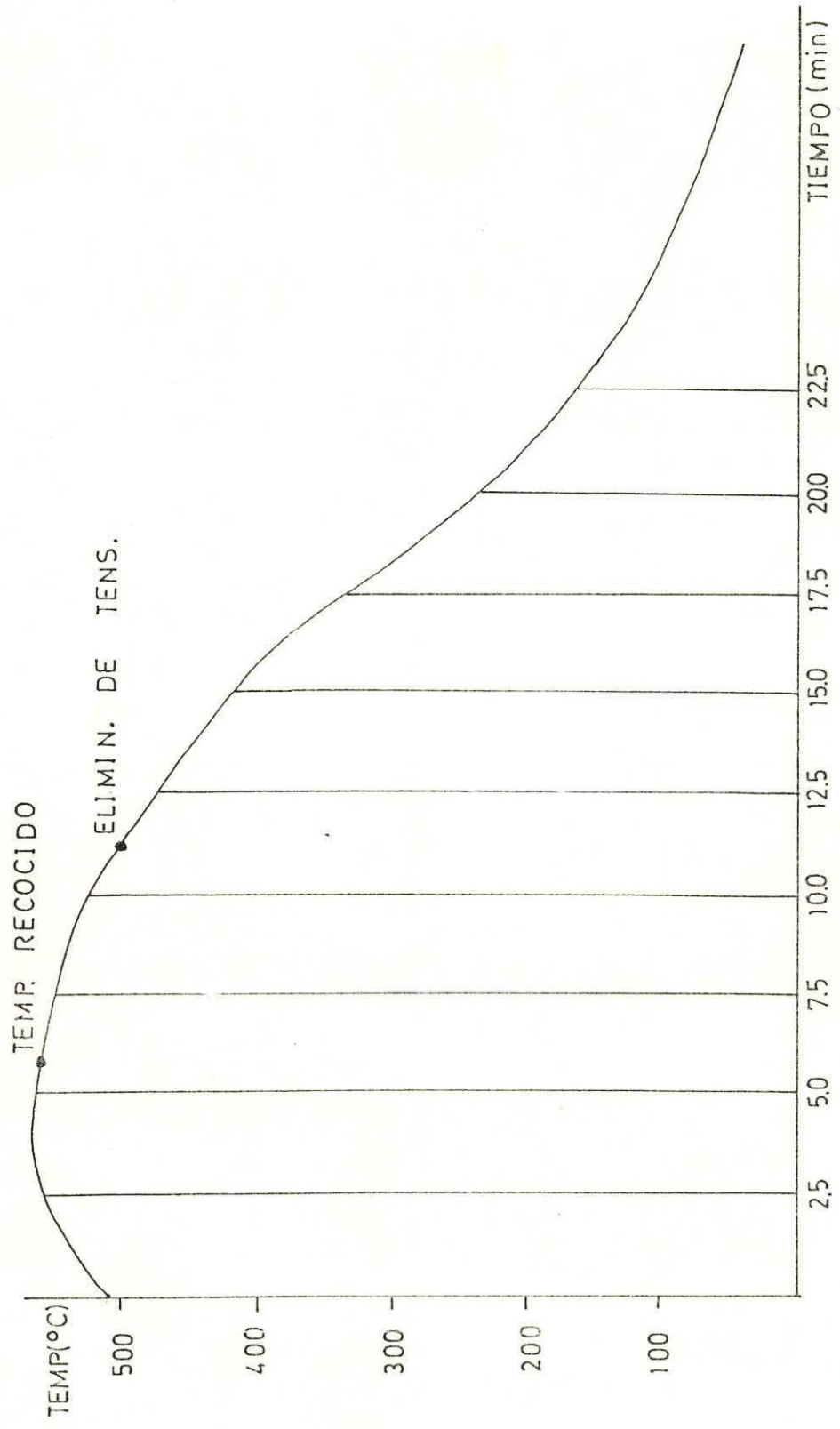
| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|



CURVA TEMPERATURA - TIEMPO (espesor = 1/8")

RECALENTAM. RECOCIDO ENF. LENTO ENF. RAPIDO ENF. AGU

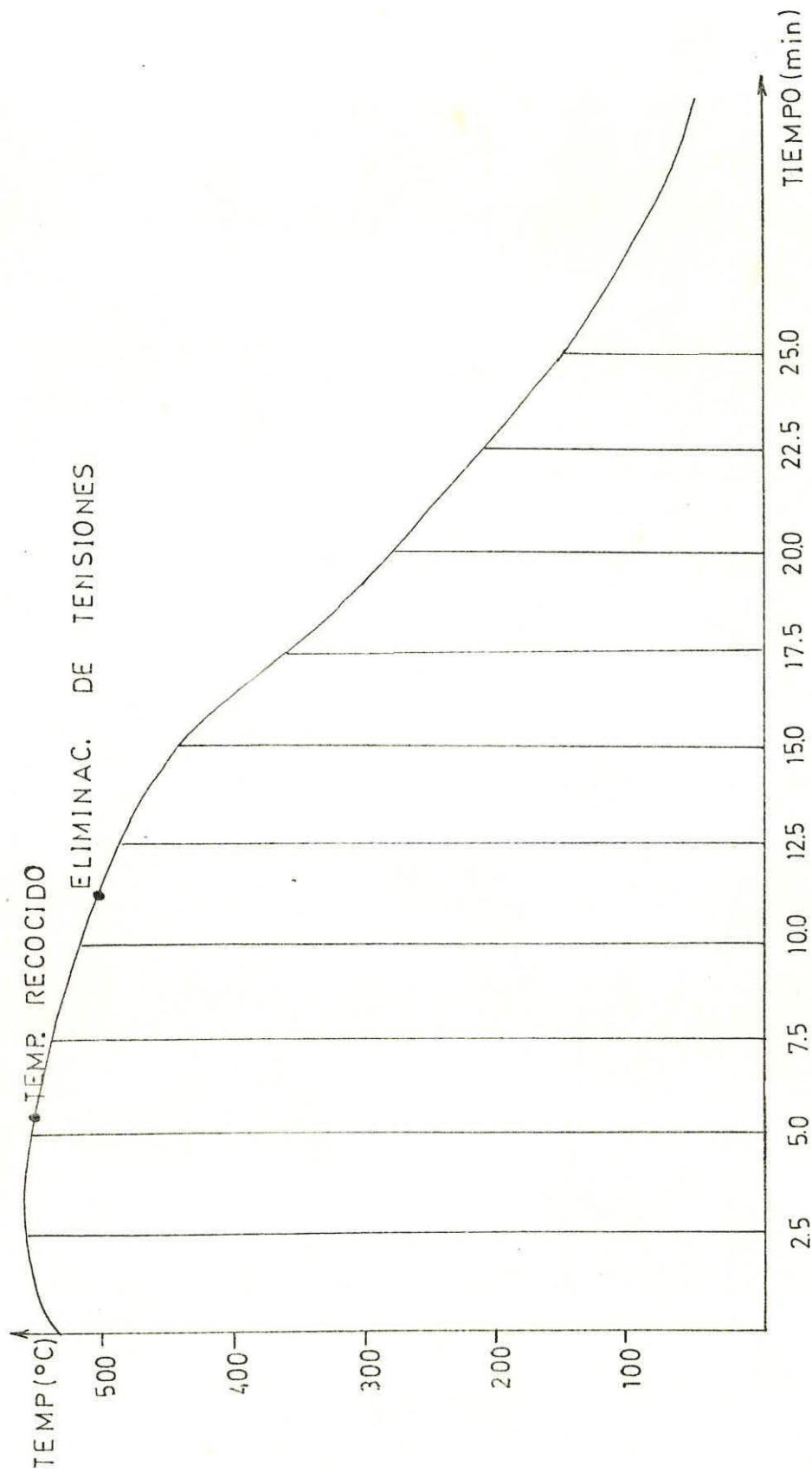
| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|



CURVA TEMPERATURA - TIEMPO (espesor = 1/4 ")

RECALENTAM. RECOCIDO E. LENTO ENFRIAMIENTO RAPIDO EMPAQUE

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|



CURVA TEMPERATURA - TIEMPO (espesor = 3/8 ")

BIBLIOGRAFIA

- 1.- A. G. PINCUS, Annealing and Strengthening in the Glass Industry (USA: Books for Industry and the Glass Industry, 1977).
- 2.- E. A. MARI, Los vidrios: Propiedades Tecnológicas de Fabricación y Aplicaciones (Argentina: Americalee, 1982).
- 3.- Vidrio Latinoamericano, volumen 1-4 (Colombia: Gráficas Fepar, 1980-81).
- 4.- Enciclopedia de la Técnica y de la Mecánica (España: Nauta, 1970).
- 5.- The Handbook of Glass Manufacture, Volumen II (USA: Books for Industry, Inc., 1974).
- 6.- F. R. Matson y G. E. Rindone, Advances in Glass Technology (part. 2) (New York: Plenum Press, 1962).