

284834

P.- 24.091

29 MAY. 1963



A 68.191  
Case 3.234 - 3.251 -PBW  
File G-72-W-58 (LIR)

284834

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud  
de

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

formulada el 4 de Febrero de 1.963, con el n.º. 284.834

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de PITTSBURGH PLATE GLASS COMPANY, entidad nortea-  
mericana, establecida en One Gateway Center, Pittsburgh,  
Pensilvania, Estados Unidos de América, por:

"UN METODO DE RECOCER VIDRIO"

Esta invención se refiere al recocido del cristal  
y especialmente a los procedimientos que se emplean para  
enfriar y recocer una cinta continua de cristal en una  
forma que se pueda regular fácilmente y en un tiempo rela-  
tivamente corto consiguiendo al mismo tiempo unos niveles  
relativamente bajos de tensiones resultantes en los pro-  
ductos terminados.

La necesidad de aplicar un programa bien regulado  
de enfriamientos con el fin de disminuir las tensiones  
que aparecen en los productos de vidrio cuando se enfrían

284834

29 MAY 1942



desde su forma fundida o desde la temperatura a la que fueron calentados con el fin atenuar las tensiones internas que posean ya es una cosa bien sabida. Al fabricar una chapa o cinta continua de cristal tal como ocurre en el procedimiento por estirado será necesario hacer un buen recocido con el fin de fabricar un cristal que tenga una tensión residual que sea esencialmente uniforme en toda su superficie y que tenga unas características de corte que sean aceptables. Existe un intervalo óptimo de tensiones residuales en el cristal en láminas que lo hacen más apropiado para su corte. Las tensiones altas tienden a aumentar las dificultades para su corte al aumentar la tendencia a que una rotura espontánea comience por una rayadura hecha por una herramienta de corte. Por otra parte las tensiones que son demasiado bajas indican a las personas que ya tienen experiencia en el arte de cortar que el cristal está demasiado recocido y que por este motivo también es difícil de cortar.

En una forma amplia podemos decir que el procedimiento que se usa para disminuir las tensiones residuales trae consigo en el enfriamiento del cristal que se ha formado partiendo de un origen fundido o que se ha calentado hasta una temperatura a la que disminuyen las tensiones que existan de modo que estas tensiones residuales de valor notable no vuelvan a aparecer cuando la temperatura del vidrio ha llegado a su equilibrio. Con el fin de reducir a un mínimo estas tensiones será útil llevar una vigilancia exacta de la temperatura solamente durante un intervalo pequeño de temperaturas que llamamos el intervalo de recocido. El límite superior del intervalo de recocido

284834

29



se puede definir y determinar en la práctica para cada vi  
drio en concreto. En general es la temperatura mínima a  
la que se atenúan las tensiones con tal rapidez que éstas  
no se pueden apreciar en la escala de tiempos del procedi-  
5 miento que se estudia. El límite inferior del intervalo  
del recocido es todavía menos concreto pero generalmente  
se le considera como que corresponde a la temperatura a la  
que se puede enfriar rápidamente un trozo de vidrio sin  
producir tensiones permanentes. Es necesario reconocer que  
10 los límites de temperatura del intervalo del recocido pa-  
ra cada composición concreta de vidrio no se han fijado si-  
no que realmente varían con el tiempo de recocido.

Hasta ahora se ha empleado un procedimiento de re  
cocido que fue inventado por Adams y Williamson (1) que  
15 permite conseguir unas tensiones residuales mínimas en el  
menor tiempo posible. Este procedimiento consta de dos  
etapas esenciales : I) Calentar o mantener el vidrio a  
una temperatura constante que sea la mayor del intervalo  
del recocido durante una parte del tiempo del recocido y  
20 entonces 2) enfriar el vidrio desde esta temperatura alta  
y constante hasta el límite inferior del intervalo de reco-  
cido a una velocidad que va aumentando gradualmente de mo  
do que se introduzca una tensión final admisible durante  
el resto del tiempo disponible de recocido. El éxito de  
25 este procedimiento depende un cálculo preciso de la tempe  
ratura inicial de recocido que se haya elegido y de la ve  
locidad de enfriamiento porque estos programas es neces-  
ario seguirlos con mucha precisión. Desde un punto de vis  
ta práctico resulta difícil aplicar este procedimiento a  
30 una cinta continua de vidrio que tenga una anchura apre-

284834



5 ciable ya que necesita disminuir la temperatura de la cinta desde su temperatura de moldeado hasta el límite superior del intervalo de recocido en una forma rápida y uniforme y después mantener la temperatura constante en toda la superficie que se ha recocido durante un tiempo apropiado. Teniendo en cuenta la dificultad de seguir con precisión la curva teórica que han recomendado Adams y Williamson en la industria generalmente solamente se ha seguido la curva de recocido de Adams y Williamson en una forma aproximada o bien se ha intentado seguir velocidades constantes de enfriamiento a través del intervalo de recocido.

---

15 (1) L.H. Adams and E.D. Williamson, J. Franklin Inst., 190, 597-631 and 835-868 (1920). Por ejemplo véase la curva de recocido de la figura 4 de la Patente Americana nº. 2.952.097. Estos programas generalmente traen consigo un enfriamiento gradual durante el paso por el intervalo de recocido con una disminución en el tiempo de enfriamiento en los puntos que estén por encima y por debajo del intervalo típico en los casos como estos en que el procedimiento de enfriamiento no influyen en las tensiones residuales.

25 Uno de los fines de esta invención es el eliminar la necesidad de mantener el vidrio a una temperatura alta y constante durante una parte del intervalo de recocido y enfriar el cristal al pasar por el intervalo de recocido a unas velocidades de enfriamiento que van aumentando progresivamente y que son difíciles de regular y de reproducir mientras que se consigue todavía un grado de recocido

30

284834



mínimo cuando se le compara con los ya conocidos cálculos teóricos de Adams y Williamson y que sean compatibles con la situación primitiva de tensiones y con el tiempo disponible para el recocido.

5 Otro de los fines de esta invención es el suministrar un nuevo programa de recocido que permita llegar a unos niveles inferiores en las tensiones residuales y esto especialmente en el cristal plano que se fabrique con el procedimiento continuo respecto a los que han sido posibles conseguir empleando programas de enfriamiento distintos pero aplicados en circunstancias parecidas.

10 De acuerdo con la invención actual ésta suministra un procedimiento de recocer vidrio que comprende un enfriamiento regulado del vidrio cuando pasa por su intervalo de recocido, y un cambio instantáneo de la velocidad de enfriamiento del vidrio cuando está a una temperatura incluida en su intervalo de recocido, con lo que la tensión que se impone de este modo al vidrio por lo menos se atenúa parcialmente mientras que el vidrio esté todavía dentro de su intervalo de recocido. Esta forma de trabajo varía respecto a las curvas graduales de enfriamiento que no tengan puntos singulares de variación rápida que caracterizan a los procedimientos que se empleaban anteriormente y que hemos descrito hace poco en esta memoria y que

15

20

25

suministra las ventajas concretas que resultarán evidentes al leer la descripción siguiente:

Según uno de los aspectos de esta invención que emplea esta forma de trabajo, en el vidrio se enfría en una forma continua desde el límite superior de su intervalo de recocido hasta el límite inferior de su intervalo

30



de recocido en una serie de etapas finitas que tienen ve-  
locidades que son sucesivamente distintas, pero casi cong-  
tantes. De este modo se produce una tensión permanente en  
el vidrio que es más pequeña de la que se produciría em-  
pleando una única velocidad lineal de enfriamiento duran-  
te el paso por el intervalo de recocido en el mismo tiem-  
po que ya se ha determinado previamente. Por ejemplo si  
una lámina de vidrio se acaba de formar con vidrio fundi-  
do y está todavía a una temperatura elevada y se enfría en  
tonces aplicándole una cierta velocidad de disminución en  
su temperatura no aparecerá ninguna tensión porque el vi-  
drio está todavía demasiado líquido. Si el vidrio se en-  
fría a través de su intervalo de recocido mientras permanece  
constante la velocidad de disminución de temperatura  
no se producirá ninguna tensión y por lo tanto ninguna de  
ellas se atenuará; sin embargo cuando la temperatura se  
igualara por debajo del intervalo de recocido se veía que el  
vidrio tiene una distribución de tensiones que es propor-  
cional a la velocidad de enfriamiento. Pero sin embargo  
la tensión real se forma dentro del intervalo de recocido  
haciendo que cambie bruscamente la velocidad de enfriamien-  
to la tensión que aparezca en este momento podrá ser capaz,  
al atenuarse por medio de la fluencia viscosa del vidrio  
de disminuir la tensión final resultante en el vidrio en  
el caso de temperaturas ambientes isotermas. Si se calcu-  
la la tensión residual durante los intervalos de atenua-  
ción hasta que la velocidad de variación de temperatura  
se cambie otra vez rápidamente, con el correspondiente  
cambio instantáneo en las tensiones, o bien hasta que el  
vidrio pase hasta afuera del intervalo de recocido (por

284834



debajo del cual las tensiones no se atenúan sino que cambian solamente de acuerdo con las variaciones de la velocidad de variación de la temperatura), la tensión residual permanente y final del vidrio podrá ser calculada. Este tratamiento de atenuación de las tensiones instantáneas reales difiere del tratamiento de atenuación de tensiones de Adams y Williamson que trata de atenuar lo que podríamos llamar tensiones potenciales por ejemplo las tensiones que aparecen en el vidrio isotérmico frío. Este tratamiento nuevo trae consigo un procedimiento nuevo de recocer el vidrio.

Según una ejecución preferente de este aspecto de la invención el vidrio se enfría rápidamente desde su temperatura de formación a una velocidad casi constante hasta un punto que quede dentro del intervalo de recocido, desde donde se enfriará a una velocidad segunda que es menor pero casi constante y posteriormente, todavía dentro del intervalo de recocido se enfriará a una tercera velocidad de enfriamiento que será casi constante pero mayor hasta por lo menos el límite inferior del intervalo de recocido. El tiempo que se necesita para hacer cada cambio a una velocidad de enfriamiento distinta tiene que ser extremadamente corto cuando se le compara con la duración de las etapas propiamente dichas o sea que es "brusco". Otros programas de enfriamiento pueden comprender curvas que empleen más de tres velocidades distintas de enfriamiento. El hecho de que se prefieran tres etapas de enfriamiento se debe a consideraciones deducidas de la práctica industrial.

Las ventajas que trae consigo este aspecto de la

284834



invención incluyen la relativa facilidad con que se pueden establecer dichas velocidades lineales de enfriamiento y también el conservarlas o reproducirlas cuando se las compara con las velocidades no lineales, y la poca necesidad de calor adicional para regular el programa de recocido en el cual se enfría el vidrio en una forma continua cuando se le compara con un programa en el cual hay que conservar el vidrio a una temperatura elevada durante un tiempo notable dentro del intervalo de tiempo de recocido de que se dispone, y también la disminución del peligro de que el vidrio sea marcado por los rodillos o sufra cualquier otra deformación en su superficie debido a la disminución rápida que se propone para la temperatura de las bandas durante las etapas iniciales del recocido.

También se ha visto que se puede conseguir un recocido aceptable empleando las enseñanzas que nos da este aspecto de la invención empleando solamente dos velocidades de recocido dentro del intervalo de recocido. Cuando está ya fijado el tiempo de que se dispone para recocer se ha visto que algunas combinaciones de dos velocidades independientes de enfriamiento que estén comprendidas dentro de él intervalo de recocido dan un producto que tiene tensiones resultantes más pequeñas que cuando se le enfría con una sola velocidad constante. La primera de las dos velocidades de enfriamiento será muy conveniente que sea más rápida que la velocidad constante de enfriamiento de modo que se disminuya el peligro de que el vidrio reciba marcas precedente de los rodillos de estirado durante las etapas iniciales de la operación de estirado cambiando posteriormente hasta una velocidad de enfriamiento más peque

284834

29



5  
10  
15  
20  
25  
30

En el punto medio del intervalo de recocido de modo que la temperatura del vidrio llegue al límite inferior del intervalo de recocido al mismo tiempo que el programa que seguía una línea recta. Por otra parte la primera velocidad de enfriamiento puede ser más gradual que la velocidad que sigue una línea recta, con un cambio en la parte media del intervalo de recocido que pasa a una velocidad más rápida. En cualquiera de estos dos casos si se eligen bien las velocidades de enfriamiento y la temperatura en la que se hace el cambio de velocidad en enfriamiento se conseguirá un producto final que tenga menos tensiones residuales que cuando se le enfría a una velocidad constante a través de la misma diferencia de temperaturas y en el mismo tiempo.

Otro aspecto de esta invención comprende la disminución de la temperatura del vidrio a través de varios trozos del intervalo de temperaturas mediante aumentos bruscos de la velocidad de enfriamiento que vienen seguidos de una disminución también brusca de la velocidad de enfriamiento que se realiza en un tiempo que sea lo bastante corto para que las tendencias dominantes del vidrio sean esencialmente elásticas durante dicha etapa. De este modo la tensión producida por el cambio a una velocidad grande de enfriamiento desaparece al quitarse esta gran velocidad, ya que no existe un tiempo suficiente durante el procedimiento para que tenga lugar una atenuación de tensiones que pueda notarse.

Según una de las formas de ejecución de este aspecto de la invención las tensiones residuales de un vidrio que haya sido recocido por medio de un programa de enfria



29

4

miento que comprenda dos o más velocidades constantes de enfriamiento, como decíamos en el primer aspecto de esta invención, se disminuye haciendo que un chorro de aire choque con la zona del vidrio que esté a dicha temperatura en el momento en el que se disminuye la velocidad de enfriamiento dentro del programa de recocido.

5

10

Según otra ejecución complementaria, se ha desarrollado un programa de recocido totalmente nuevo en el cual se disminuye la temperatura del vidrio a través del intervalo de recocido mediante varias caídas rápidas de temperatura de poca duración que están separadas por velocidades de enfriamiento relativamente bajas que tienen una duración bastante mayor, y que se consiguen haciendo chocar corrientes de aire frío o de cualquier otro gas inerte con la superficie del vidrio a intervalos de tiempos regulares o bien en una forma continua formando bandas estrechas puestas en situaciones regulares respecto a la cinta móvil de vidrio durante el programa de recocido. Este segundo aspecto de la invención que acabamos de citar trata de disminuir la atenuación de tensiones que se producen al cambiar bruscamente hacia una velocidad mayor de enfriamiento al disminuir rápidamente la velocidad de enfriamiento que era mayor, ya que como diremos posteriormente, la atenuación de tensiones que se produce así se suma a la tensión final del vidrio en lugar de disminuirla. Al emplearse ahora una corta etapa de enfriamiento a gran velocidad, se consigue un enfriamiento suplementario que queda dentro del intervalo de recocido a cambio del relativamente pequeño inconveniente de un aumento en las tensiones residuales.

15

20

25

30

284834



Ahora describiremos la invención refiriéndonos a su descripción detallada que va a continuación cuando se la considera unida a los dibujos que se acompañan en los que:

5 La figura 1 muestra una serie de tres gráficos para un programa de enfriamiento que esté de acuerdo con uno de los aspectos de la invención actual en el que la temperatura (figura 1 A), la velocidad de enfriamiento y el gradiente térmico (figura 1 B), y la tensión en el centro (figura 1 C) vienen representados sobre una escala de tiempos común;

15 La figura 2 muestra una serie de tres gráficos que representan un segundo programa de enfriamiento para el primer aspecto de la invención actual en el que la temperatura (figura 2 A) la velocidad de enfriamiento y el gradiente térmico (figura 2 B) y la tensión en el centro (Fig. 2 C) están representadas respecto a una escala de tiempos común.

20 La figura 3 muestra las curvas de temperatura - tiempo que atraviesan el intervalo de recocido dentro de un tiempo previamente fijado (fig. 3 A) y la tensión residual en el centro que aparece al seguir estas curvas (fig. 3 B).

25 La figura 4 muestra una serie de tres curvas para un programa preferido de enfriamiento con destino a la invención actual en las que la temperatura (fig. 4 A), la velocidad de enfriamiento y el gradiente térmico (fig. 4 B) y la tensión en el centro (fig. 4 C) está representadas respecto a una escala de tiempos común.

30 Cada una de las figuras 5, 6 y 7 muestran una cur

284834



va de temperaturas en relación con el tiempo para un ejemplo concreto de programa de recocido (figuras 5 A, 6 A y 7 A) y una familia de curvas que indican las tensiones residuales que producen dichos programas de recocido (figuras 5 B, 6 B, y 7 B).

La figura 8 es un gráfico que muestra un ejemplo de las curvas de atenuación de tensiones que se emplean en el método de cálculo que se revela en esta patente. Estas curvas se dibujaron partiendo de los datos de atenuación de tensiones en una composición concreta de vidrio y han sido publicadas por (A. F. Van Zee and H. M. Noritake, "Measurement of Stress Optical Coefficient and Rate of Stress Release in Commercial Soda-Lime Glasses", J. Am. Ceram. Soc., 41 164-175, 1958; (Medida de Coeficiente Optico de Tensiones y de la Velocidad de Atenuación de Tensiones en los Vidrios Comerciales a la Sosa y Cal).

La figura 9 es una vista esquemática y en perspectiva de una máquina de estirar vidrio que representa una ejecución preferente de esta invención.

La figura 10 es un gráfico que muestra las curvas de enfriamiento que se prefieren para estirar vidrio verticalmente en las que las temperaturas en la superficie de las bandas de vidrio de distintos espesores y que tienen temperaturas medias idénticas se comparan con sus proyecciones que se representan debajo de las mismas en un horno de recocido (lehr) cuyo esquema vertical está dibujado durante la marcha hacia arriba de cada una de dichas bandas.

La figura 11 es un gráfico que muestra una de las curvas de enfriamiento que se prefieren para fabricar ho-

284834



horizontalmente vidrio laminado en la que se compara la temperatura de la cinta de cristal con su posición horizontal en un horno de recocido horizontal del que se presenta un esquema durante el avance de la cinta.

5

La figura 12 es otro gráfico que muestra una curva de enfriamiento que se prefiere para volver a recocer lunas u hojas de vidrio ya sean planas o curvas y en la que se compara la temperatura del vidrio con su posición horizontal en un horno de recodido horizontal del que se presenta un esquema durante el avance del cristal.

10

La figura 13 muestra en una serie de tres gráficos un programa de enfriamiento de una primera ejecución hecha de acuerdo con otro aspecto de la invención actual en el cual la temperatura (fig. 13 A), la velocidad de enfriamiento y la curva de distribución de temperaturas (fig. 13 B) y la tensión en el centro (fig. 13 C) están representadas encima de una escala de tiempos común.

15

La figura 14 muestra unas curvas más detalladas de la distribución parcial de temperaturas en el plano central, en la superficie y las temperaturas medias (fig. 14 A), las curvas correspondientes de velocidad de enfriamiento y de distribución de temperaturas (fig. 14 B) y la tensión en el centro (fig. 14 C) de una luna de vidrio que está sometida a un enfriamiento rápido durante un tiempo corto.

20

25

La figura 15 indica esquemáticamente las distribuciones de temperaturas y tensiones a través del espesor de una luna de vidrio mientras se va formando la distribución de temperaturas al enfriarse.

30

La figura 16 muestra una serie de tres curvas que



representan el programa de enfriamiento en una segunda ejecución del segundo aspecto de la invención actual en los que la temperatura (fig. 16 A), la velocidad de enfriamiento y la distribución de temperaturas (fig. 16 B), y la tensión en el centro (fig. 16 C) están representadas sobre una escala de tiempos común.

La figura 17 muestra el esquema de un sistema apropiado para suministrar aire a los colectores de aire que se emplean en la invención actual.

Las figuras 18 y 19 muestran algunos detalles de la construcción de dichos colectores de aire.

La figura 20 es una vista en perspectiva y esquemática de una máquina para estirar vidrio que representa una segunda ejecución del segundo aspecto de esta invención.

La figura 21 es un gráfico que muestra las temperaturas de enfriamiento de una segunda ejecución del segundo aspecto de esta invención destinado a fabricar lunas estiradas verticalmente y en la que se comparan las temperaturas de las bandas de cristal de distintos espesores y que tienen unas temperaturas medias idénticas que se comparan con sus posiciones verticales en un horno de recocido vertical que se representa esquemáticamente durante el movimiento vertical de cada banda.

Se podrá comprender mejor la teoría de la que se parte en el estudio de este primer aspecto de la invención actual siguiendo dos programas de recocido tales como los que se pueden ver en las figuras 1 y 2, respectivamente, de los dibujos que llaman la atención sobre las dos bases principales que intervienen: (1) el origen de

284834



las tensiones en el vidrio debidas a cambios rápidos en la distribución de temperatura y (2) la atenuación de dichas tensiones por la fluencia viscosa. Al desarrollar estas ideas teóricas no se ha tenido en cuenta el hecho de que las velocidades intrínsecas de atenuación de tensiones son distintas en las zonas también distintas de una hoja de cristal ya que están a distintas temperaturas. Por ejemplo, cuando el vidrio se acerca al límite inferior de su intervalo de recocido sus capas superficiales es posible que ya estén más frías que este límite mientras que su parte central todavía puede fluir en forma viscosa. Por lo tanto repetimos que en este estudio simplificado no se consideran las diferencias que se crean de esta manera.

Los dos programas nos indican que la atenuación de las tensiones instantáneas es posible que ayude o estorbe la llegada a una tensión final permanente y de poco valor, y que existe un programa óptimo que permite producir la tensión permanente mínima.

La figura 1 está formada por tres curvas, la 1 A en la que se representa la temperatura de una hoja de cristal que se está enfriando en relación con el tiempo, 1 B en la que la velocidad de enfriamiento R y la distribución de temperatura  $\Delta T$  entre el centro y las superficies de la hoja de cristal están representadas en relación con el tiempo, y 1 C en la que se representa la tensión instantánea que existe en el vidrio, en forma de tensión central que viene expresada en forma birefringencia también central  $\Delta$  y que está representada en relación con el tiempo. Como la escala de tiempo de los procedimientos

284834



de recocido que estamos estudiando es de tal tamaño que si se exceptúa un pequeñísimo período de transición que sigue a los cambios en la velocidad de enfriamiento- las distribuciones de temperaturas dentro del vidrio se pueden considerar que casi están equilibradas, por ejemplo distribuidas parabólicamente. Por lo tanto las distribuciones de tensiones también tendrán una distribución parabólica y se pueden representar más cómodamente mediante un parámetro único tal como la tensión que existe en cada instante en el centro.

Si recordamos que una distribución de temperaturas de enfriamiento cuando se aplica a una hoja de vidrio que está a una temperatura mayor que las del intervalo del recocido no puede producir una tensión dentro del vidrio porque cualquiera de ellas que apareciese se atenuaría instantáneamente por fluencia viscosa, a causa de la baja viscosidad del vidrio; y también debemos recordar que no se producirá ninguna tensión si se enfría el vidrio a una velocidad constante (que corresponde a una distribución constante de las temperaturas, como puede verse comparando las curvas de las figuras 1 A y 1 B), será evidente que no se producirán tensiones en el vidrio hasta que la velocidad de enfriamiento se cambie en algún punto que esté por debajo del límite superior del intervalo del recocido. Como puede verse en la figura 1 A, una hoja de vidrio primeramente se enfría a una velocidad  $R_1$  desde una temperatura que está por encima del intervalo de recocido hasta otra  $T_B$  que está dentro del intervalo del recocido. La figura 1 C indica que el vidrio que se enfría a la velocidad  $R_1$  con una distribución de temperaturas  $\triangle T$

284834



5 en la figura 1 B carece de tensiones. Si se cambia la cur-  
va de enfriamiento constante por otra velocidad  $R_2$  cons-  
tante de enfriamiento en un punto que esté dentro del in-  
tervalo de recocido, tal como viene representado en el  
punto  $T_B$  en la figura 1 A también se produce una tensión  
instantánea que es proporcional al cambio de velocidades  
de enfriamiento. Respecto al cambio relativamente rápido  
en la distribución de temperaturas en el momento  $t_1$  en  
la figura 1A que es instantánea, el vidrio reacciona proba-  
blemente en forma elástica. De este modo la disminución  
repentina de  $\Delta T$  (la diferencia de temperaturas entre  
la superficie y el plano medio de la luna tal como viene  
indicado por los pequeños dibujos puestos dentro de la fi-  
gura 1B, que muestran esquemáticamente la distribución de  
temperaturas a lo largo del espesor de la luna) se espera  
que produzca un aumento instantáneo en la tensión en el  
centro. Véase la figura 1C. Si el vidrio fuese elástico  
la tensión producida en el mismo permanecería constante  
mientras no volviese a cambiar la distribución de tempera-  
turas dentro del vidrio. Sin embargo como el vidrio cuan-  
do está a una temperatura comprendida dentro del interva-  
lo de recocido, no es elástico, se adapta físicamente por  
medio de la fluencia viscosa para atenuar por sí mismo  
las tensiones que hayan producido en cada instante. Esta  
atenuación se va produciendo por una velocidad cada vez  
menor porque el nivel absoluto de tensiones y la tempera-  
tura del vidrio va disminuyendo. Y la atenuación continua,  
tal como puede verse en la figura 1C, hasta que la tempe-  
ratura del vidrio llegue al límite inferior del intervalo  
de recocido. Desde este límite inferior del intervalo de

284834

29



recocido hasta la temperatura ambiente el vidrio es esencialmente un material elástico y sus tensiones permanentes no cambiarán durante el trozo del programa de enfriamiento que queda entre  $t_2$  y  $t_3$ . Cuando la temperatura del vidrio se acerca a la del ambiente la velocidad de enfriamiento que era constante va disminuyendo como ocurre por lo tanto, con la diferencia de temperatura entre la superficie y el plano medio del vidrio. Como el vidrio ahora es un material elástico, esta disminución de  $\Delta T$  desde el momento  $t_3$  produce un aumento de tensión que es uno de los componentes de la tensión permanente y final que se producirá en el vidrio a consecuencia de su historia térmica. Esta tensión equivale a la que se hubiera producido si hubiésemos conservado una velocidad de enfriamiento constante que correspondiese con la velocidad final  $R_2$  a través del intervalo de recocido y sumándole la tensión que no ha sido atenuada y que se ha producido por los cambios en las velocidades de enfriamiento dentro del intervalo de recocido. También equivale a la tensión que se hubiese producido si se hubiese continuado con la primera velocidad de enfriamiento a través del intervalo de recocido, quitándole la cantidad de tensiones que producen un cambio en las velocidades de enfriamiento que se atenúan.

La tensión permanente final podría evidentemente disminuirse reduciendo la velocidad de enfriamiento final  $R_2$ . Sin embargo esto obligaría a recocer durante un tiempo mayor. La tensión final permanente también se puede disminuir aumentando la cantidad de tensiones que se atenúan, tal como mediante un alargamiento de intervalo de tiempo  $t_1$  menos  $t_2$  entre el cambio en la velocidad de enfriamiento

284834

29



to y el momento en el que la temperatura del vidrio llega al límite inferior del intervalo de recocido. Como el tiempo disponible para recocer está limitado con frecuencia en un procedimiento industrial, se ve que existe dentro del tiempo de que se dispone una combinación óptima entre la temperatura a la que cambia la velocidad de enfriamiento y ya sea la velocidad con que se cambia o bien el intervalo de tiempo  $t_1$  menos  $t_2$  entre el cambio de la velocidad de enfriamiento y el momento en que llega el vidrio al límite inferior del intervalo de recocido. La curva de la figura 1C nos muestra que la atenuación de una tensión que se haya producido instantáneamente por un cambio en las velocidades de enfriamiento disminuye la tensión en el centro y de este modo también la tensión final en el vidrio.

Como el programa de enfriamiento y la curva de tensiones que viene representadas en la figura 2 nos indican, la atenuación de las tensiones provisionales no disminuyen necesariamente la tensión final permanente. La figura 2 A nos muestra un programa de enfriamiento en el que la temperatura del vidrio pasa desde una que está encima del intervalo del recocido hasta otra temperatura  $T_p$  que está dentro de dicho intervalo, y que en el momento  $t_1$  se enfría con una velocidad mayor a través del intervalo de recocido hasta la temperatura ambiente en la cual se igualan las temperaturas del vidrio. En este caso el cambio en las velocidades de enfriamiento produce un aumento en las diferencias de temperatura entre el plano medio y la superficie tal como puede verse en la curva y pequeños dibujos esquemáticos que se han colocados en el interior de la

284834



figura 2B. A esto responde elásticamente el cristal haciendo que el centro de la hoja tenga tensiones de compresión, tal como viene indicadas por la línea AB en la figura 2C. Esta tensión se atenúa lo mismo que en el ejemplo anterior hasta que la temperatura del vidrio pase por el límite inferior del intervalo de recocido en un momento  $t_2$ , después del cual dicha tensión permanece constante hasta que hayan desaparecido gradualmente las diferencias de temperaturas lo cual hace que el vidrio llegue a la distribución de tensiones final. En este caso la atenuación de tensiones desde el momento  $t_1$  hasta el momento  $t_2$  se realiza en dirección positiva o sea en la dirección que aumenta la tensión en el centro y por lo tanto tiende a aumentar la tensión residual. Aunque pudiera parecer que sería conveniente disminuir esta atenuación de tensiones, quizás aumentando la velocidad de enfriamiento final de modo que si disminuyese el tiempo disponible para la atenuación de tensiones, la adopción de una velocidad mayor aumentaría la diferencia de tensiones desde D a E (que es proporcional a la velocidad final de enfriamiento) y anularía las ganancias producidas por la disminución de la atenuación de tensiones entre B y C. También aquí, para cualquier conjunto de variables procedentes del exterior existirá siempre una combinación óptima de la temperatura de variación, por ejemplo la temperatura a la que se cambia la velocidad de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento final que producirá una tensión final permanente mínima. Un ejemplo concreto de una aplicación de los principios antes enunciados el procedimiento de recocido que se emplea para estirar una cinta continua de vidrio viene completado por las cur-

284834



vas de las figuras 3 A y 3B, que se aplican a vidrios de  
7/32" (5,5 mm.), el recocido se realizará dentro de los  
períodos cortos de tiempo que estamos estudiando ahora. La  
velocidad de estirado, que depende de los factores que es-  
tán relacionados con los fenómenos de formación de la cin-  
ta y del espesor conveniente en la misma, regulan el tiem-  
po en el que el vidrio podrá pasar a través del horno de  
recocido de la máquina de estirar. Algunos factores tales  
como la posibilidad de que el vidrio caliente reciba mar-  
cas o se deforme en contacto con los rodillos de estirado  
y la necesidad de disminuir la temperatura del vidrio has-  
ta aproximadamente 90° C en el momento de llegada a la po-  
sición de las cizallas en donde hay que cortarlo y manejar  
lo hace que sea conveniente disminuir la temperatura del  
vidrio a través del intervalo de recocido pocos momentos  
después de su formación. La distancia concreta durante la  
cual se recuece el vidrio en la máquina de estirar se esta-  
blece arbitrariamente, siempre que estén de acuerdo con  
los factores de fabricación que acabamos de citar y el gra-  
do de recocido que se puede conseguir durante el tiempo  
que tarda el vidrio en atravesar cualquier distancia fija.  
También ocurre que, una vez fijada una zona de distancias  
para recocido dentro de la máquina, será posible recocer  
dentro de esa zona todos los espesores distintos de vidrio  
que se estiren en la máquina. Esto es posible a pesar de  
usarse varias velocidades de estirado (y por lo tanto tiem-  
pos distintos que estén dentro del intervalo de recocido)  
que se necesiten para los distintos espesores de vidrio,  
porque las cintas finas de vidrio se estirán más rápidamen-  
te que las gruesas y también se enfrían con mayor velocidad.

284834



Esta característica viene representada gráficamente por las curvas de la figura 10 de los dibujos.

En la descripción de los programas de recocido de esta patente, todas las temperaturas si no se dice lo contrario, son las temperaturas medias del vidrio. Como los programas actuales de recocido se pueden aplicar especialmente a lo que la industria llama "vidrio plano" por ejemplo, hojas de vidrio, lunas, y otros productos de vidrio cuyas superficies principales son esencialmente paralelas en las que se incluyen las hojas o lunas dobladas o curvadas la temperatura en la superficie o en un plano medio del vidrio, así como su temperatura media, se pueden usar al preparar los programas de recocido. En realidad la temperatura media que se cita en esta patente se puede calcular partiendo de las temperaturas que se miden en la superficie, el espesor, característica de transmisión del calor, y la velocidad de enfriamiento del vidrio. La temperatura media se puede calcular según la ecuación siguiente:

Temperatura media = a la temperatura en la superficie

$$+ \frac{L^2 R}{12\alpha}$$

en la que L es el espesor de la luna de vidrio en cm., R es la velocidad de enfriamiento en °C/seg., y  $\alpha$  es la difusión térmica en cm<sup>2</sup>/seg. y es igual a  $\frac{k}{c_l}$ : en donde  $c_l$  es el calor específico por unidad de volumen en cal/cm<sup>3</sup>. y  $k$  es la conductibilidad real térmica en cal/cm. °C.seg.

La temperatura real del vidrio mientras se están

28483A



5 enfriando es bastante difícil de determinar y sus resultados pueden ser distintos al emplear procedimientos diferentes de medida. Las temperaturas en sus superficies se pueden medir en forma conveniente partiendo de la corriente que producen los pirómetros de radiación siempre que se filtren para que solamente acepten las radiaciones que vienen de una sola de las superficies de vidrio y estén colocados a una cierta distancia de la superficie del vidrio que se mide para la cual han sido calibrados.

10 Los límites de temperatura de los intervalos de recocido tal como se han descrito en esta patente se pueden determinar prácticamente si se comparan las tensiones que aparecen en una probeta de cristal que se enfría con una velocidad constante a través de un intervalo de temperaturas que comprendan en su interior claramente el intervalo de recocido, con las tensiones que aparecen en varias probetas que se hayan enfriado a dos velocidades distintas una de las cuales es la misma que la velocidad constante que citamos en el primer ejemplo. Tan pronto como el cambio de velocidad de enfriamiento aparezca por encima o por debajo de los límites del intervalo de recocido y si se conserva una velocidad constante de enfriamiento que equivalga a la de la primera muestra durante el intervalo de recocido, la tensión resultante seguirá siendo la misma. En cuanto aparezca el cambio de temperatura dentro del intervalo de recocido cambiará la tensión resultante porque el programa de enfriamiento a lo largo del intervalo de recocido ya no tendrá una sola velocidad constante. Por lo tanto si se cambia la temperatura a la que se varían las velocidades de enfriamiento, los lími-

15  
20  
25  
30



tes del intervalo de recocido se manifestarán por medio de un cambio en la tensión resultante a causa de la aparición de una temperatura en cierto punto singular que está dentro del intervalo de temperaturas que influye sobre la tensión final. Generalmente el intervalo de recocido de un vidrio corriente para ventanas y lunas hecho con sosa-cal-sílice para los programas de recocido que usan un intervalo de tiempo semejante al de los ejemplos que citamos en esta patente (por ejemplo del orden de los 100 seg. para un vidrio de 7/32" (5,5 mm) de espesor) es aproximadamente de 600° a 520° C. Esta es la temperatura media del vidrio. A fines de comprobación conviene determinar esta temperatura media midiendo la temperatura en la superficie la cual siempre será menor. Por ejemplo en el vidrio de 7/32" (5,5 mm. de espesor) la temperatura en la superficie mientras el vidrio está en el intervalo de temperatura de recocido variará entre 585 a 505° C aproximadamente. Para cualquier espesor de vidrio la temperatura en la superficie que se mida mientras el vidrio esté dentro del intervalo de recocido variará tal como viene indicado en la ecuación antes citada y permanecerá aproximadamente en el intervalo de 600 a 500° C. Las variaciones en la composición del vidrio puede evidentemente aumentar o disminuir el intervalo de recocido.

La determinación de los valores de las tensiones tal como se ha explicado en esta patente se hace partiendo de la comparación entre las diferencias de las trayectorias de dos ondas planas de luz polarizada que pasan a través del vidrio que tenga tensiones y que se determinan por un procedimiento ya corriente y conocido. Como el vi-

284834



5        drico sometido a tensiones tiene una influencia sobre la  
      luz polarizada que es parecida a la de un cristal birefrin  
      gente esta propiedad que viene medida por la diferencia de  
      trayectorias que acabamos de citar será proporcional a la  
10        intensidad de las tensiones. Esta birefringencia nos sirve  
      de este modo para medir directamente las tensiones ya que  
      se mide dicha cantidad mediante la diferencia entre las  
      trayectorias ópticas de ondas de luz que vibran paralela  
      y normalmente a uno de los ejes del vidrio durante toda  
15        la longitud de la trayectoria. Esta diferencia generalmen  
      te viene expresada en milimicras,  $m\mu$ , por unidad de lon-  
      gitud de la trayectoria a través del vidrio. En vista de  
      esto todas las medidas de tensiones que se citen en esta  
      patente vendrán expresadas en milimicras por pulgada de  
      vidrio que se mide como sigue:

20        La luz polarizada por un prisma de Nicol pasa a  
      través de una trayectoria de una pulgada de largo a tra-  
      vés del vidrio que se quiere medir (por ejemplo a través  
      del borde, normal al plano de variación de tensiones, de  
      una probeta de una pulgada que esté orientada según un án-  
      gulo de  $45^\circ$  respecto al plano de polarización de la luz)  
      y después a través de un analizador formado por otro pris-  
      ma de Nicol que tenga un plano de polarización en ángulo  
      recto respecto al del polarizador. Una cuña calibrada que  
25        se coloca entre dichos prismas de Nicol se va regulando  
      hasta que compense la diferencia de trayectoria de la luz  
      en cuyo momento realiza una medida directa de la tensión  
      en el centro o de la birefringencia central correspondien-  
      te que viene medida por la diferencia de trayectoria de  
30        las ondas de luz polarizada en cada pulgada de vidrio.

284834



Si tomamos como ejemplo que sirva para explicar lo anterior, la fabricación de una cinta corriente y continua de vidrio de  $7/32''$  (5,5 mm. de espesor) veremos que las exigencias de la fabricación que hemos citado anteriormente nos obligan a disminuir la temperatura del vidrio desde 600 a 520° C (el intervalo de recocido) en 100 seg. El programa de enfriamiento más sencillo dentro de lo posible es el que corresponde a un enfriamiento a velocidad uniforme durante todo el intervalo de recocido. En las condiciones que hemos establecido anteriormente para el ejemplo actual el enfriamiento en línea recta no admite variaciones y corresponde a un enfriamiento del vidrio a la velocidad uniforme de 0,8° C. por seg. La tensión correspondiente (tensión en el centro que aparece en una hoja de cristal de  $7/32''$  (5,5 mm. de espesor) es aproximadamente de 145 milimicras por pulgada (5,8 milimicras por milímetro).

Un sistema que tenga un solo punto singular en su programa de enfriamiento tal como el que está dibujado con línea de puntos en la figura 3A, permite algunas variaciones en el procedimiento de recocido. Esto puede variar desde una gran velocidad inicial de enfriamiento con poca velocidad al final tal como viene indicado por la curva ABC, pasando por una velocidad constante de enfriamiento AC, para llegar a una velocidad inicial baja con una velocidad final alta, tal como vienen indicadas por la curva ADC. El punto singular puede aparecer en cualquier temperatura tal como la  $T_p$  que esté dentro del intervalo de recocido. Además de esta temperatura en el punto singular  $T_p$  un programa de enfriamiento con un solo punto singular

284834



y que pase desde el límite superior hasta el límite inferior del intervalo de recocido en el tiempo prescrito de recocido pueda estar caracterizado por una variable independiente suplementaria, que es la velocidad inicial de enfriamiento  $R_1$  o también la velocidad final de enfriamiento  $R_2$  o bien la relación entre estas dos últimas. En la figura 3B puede verse un gráfico de las tensiones residuales que aparecen en el vidrio de  $7/32''$  (5,5 mm. de espesor) en función de la temperatura del punto singular  $T_B$  y de la relación entre las velocidades de enfriamiento inicial y final en un programa de recocido con un solo punto singular en el que se enfría el vidrio desde 600 hasta 520° C en 100 seg. Todas estas curvas pasan por el punto p que corresponden al enfriamiento sin punto singular y con una tensión final de 145 milimicras por pulgada (5,8 milimicras por mm.). Si el punto singular está a 570° C puede verse que las tensiones mínimas que se pueden conseguir aparecen cuando la relación entre las velocidades de enfriamiento es igual a 1, por ejemplo el caso en que no hay ningún punto singular. Si el punto singular está a una temperatura menor de 570° C la disminución del cociente de la velocidad de enfriamiento inicial partida por la velocidad de enfriamiento final produce una tensión residual que es menor, pero el aumento de este cociente también aumenta las tensiones residuales. Por otra parte si el punto singular aparece a temperaturas mayores de 570° C, se producen unas tensiones finales menores cuando la velocidad de enfriamiento inicial es mayor que la velocidad de enfriamiento final. Si el punto singular aparece a temperaturas mayores de 570° C tiene unos mínimos que se

284834



5 pueden apreciar con mucha precisión y que muestran que pa  
ra cualquier temperatura concreta de punto singular, exis  
te un cociente óptimo entre las velocidades de enfriamien  
to iniciales partidas por las finales de modo que no con  
viene aumentar este cociente por encima del valor citado.  
Este valor último procede de una comparación entre la con  
tribución que hace en forma decreciente a las tensiones  
permanentes, la disminución del intervalo de temperaturas  
que corresponde a una velocidad de enfriamiento  $R_2$  que es  
10 final y más pequeña y el aumento y la contribución que ha  
ce en forma creciente a las tensiones permanentes finales  
una tensión instantánea mayor que se produce en el momen  
to en que se hace un cambio en las velocidades de enfria  
miento como resultado de un cambio más enérgico de las ve  
15 locidades de enfriamiento y desde su valor inicial al fi  
nal, que es evidente que no tiene tiempo para atenuarse lo  
suficiente antes de que el vidrio se haya enfriado por de  
bajo del intervalo de recocido.

20 Volviendo ahora a la figura 4 de los dibujos, el  
programa general de enfriamiento da una curva de tempera  
turas más complicada y con dos puntos singulares aparece  
en la figura 4A dibujada respecto al tiempo. Los cambios  
correspondientes en la distribución de temperaturas y la  
tensión en el centro se representan sobre la misma escala  
25 de tiempos en las figuras 4B y 4C, respectivamente. La  
tensión en el centro que haya sido creada por el primer  
cambio de velocidades de enfriamiento desde  $R_1$  a  $R_2$  en  
el momento  $t_1$  se atenúa en una dirección tal que disminu  
ye la tensión final en el centro. Además la inclinación  
30 gradual de la curva de temperaturas  $R_2$  (fig. 4A) durante

284834



la segunda velocidad de enfriamiento nos indica que hay una distribución de temperaturas baja (véase la figura 4B) la cual si sigue estando así durante todo el intervalo de recocido, producirá una tensión permanente final relativamente baja. Sin embargo si se continuase con dicha distribución no podría llegarse en el tiempo que se desea al límite inferior del intervalo de recocido. Por lo tanto se establece un segundo punto singular en el momento  $t_2$  y una velocidad tercera de enfriamiento  $R_3$  que es más rápida con el fin de disminuir la temperatura del vidrio hasta valores inferiores al intervalo de recocido en el tiempo que se desea. Como muestra la figura 4C este cambio produce una tensión instantánea en la dirección de aumentar la compresión en el centro. Cualquier atenuación de esta tensión resulta por lo tanto perjudicial porque disminuye la compresión en el centro (porque aumenta la tensión en el centro). Sin embargo como la temperatura del vidrio en este momento ya está cercana al límite inferior del intervalo de recocido habrá muy poca atenuación real y vidrio no se ajustará físicamente en forma notable por medio de su fluencia viscosa a una tercera velocidad de enfriamiento. Por lo tanto la tensión final permanente cuando se suprime la tercera distribución de temperatura no será proporcional a dicha distribución de mayor valor. Por el contrario será proporcional a la tensión que se produciría cuando suprimiésemos la primera distribución durante el enfriamiento, pero dejando la parte de tensiones instantáneas que hayan sido producidas por el primer cambio en las velocidades de enfriamiento y que se atenúan durante la segunda velocidad de enfriamiento, más la par-

284834



te de las tensiones instantáneas que están producidas por el segundo cambio de velocidad de enfriamiento y que se atenúan durante el tercer intervalo de enfriamiento.

Las figuras 5, 6 y 7 presentan ejemplos concretos de unos programas de enfriamiento más complicados que comprenden dos puntos singulares y que todavía están de acuerdo con las necesidades de enfriamiento de la hoja de cristal de  $7/32''$  (5,5 mm. de espesor) desde 600 hasta 520° C en 100 seg. La figura 5A representa un programa de recocido en el cual la temperatura del vidrio se hace bajar desde valores mayores que los del intervalo de recocido a una velocidad inicial de enfriamiento  $R_1$  hasta un nivel de temperatura  $T_L$  que está dentro del intervalo de recocido y que se mantiene constante ( $R_2=0$ ) entre los momentos  $t_1$  y  $t_2$ , después de los cuales se enfría el vidrio con la velocidad de enfriamiento final  $R_3$ . La tensión residual en el centro se representa en la figura 5B en función de las tres variables independientes  $R_1$ ,  $R_3$ , y  $T_L$ . La familia de curvas que aparecen en esta figura nos muestra como varían la tensión residual en el centro para las distintas velocidades de enfriamiento finales y los distintos niveles de temperatura durante el período de parada cuando la velocidad de enfriamiento inicial  $R_1$  sea igual a dos grados centígrados por segundo. Estas curvas evidentemente variarán con las distintas velocidades de enfriamiento iniciales. Puede verse que las tensiones residuales dependen en mucho del nivel de temperaturas  $T_L$  y en una cantidad algo menor de la velocidad final de enfriamiento  $R_3$ . En todas las velocidades de enfriamiento pero no en la más lenta, para la cual el período de parada necesariamen

284834



te es muy corto, se produce una tensión residual en el centro de valor mínimo cuando la temperatura en el punto de parada es de unos 568° C. El valor más pequeño del mínimo que aparece durante este programa de recocido que corresponde a 98 milimicras por pulgada (3,9 milimicras por mm.) corresponde al programa de enfriamiento más difícil, lo que viene indicado por la gran inclinación de la curva a ambos lados de su valor mínimo. Unas familias de curvas parecidas (y que no se representan) y que proceden de valores distintos de la velocidad de enfriamiento inicial  $R_1$  también presentan unos valores mínimos en la región de los 100 a 120 milimicras por pulgada (4 a 4,8 milimicras por mm.) para las temperaturas durante el período de parada que están comprendidas entre 565 y 575 grados centígrados.

Las figuras 6A y 7A presentan ejemplos de unos programas lineales de enfriamiento que contienen dos puntos singulares en dos temperaturas distintas  $T_{B1}$  y  $T_{B2}$ , quedando eliminada de este modo la temperatura constante que aparecía en el período de parada del caso anterior. Los programas de enfriamiento de esta clase vienen caracterizados por cuatro variables independientes tales como las dos temperaturas de los puntos singulares y también ya sea por los correspondientes tiempos para los puntos singulares  $t_1$  y  $t_2$  o bien dos de las tres velocidades de enfriamiento,  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ . Las figuras 6B y 7B son gráficos de tensiones residuales en función de las temperaturas en los puntos singulares  $T_{B1}$  y  $T_{B2}$  para las velocidades iniciales de enfriamiento de dos grados centígrados por segundo y velocidades de enfriamiento finales de 1,3 y 2° C

284834



por seg., respectivamente. Varios de estos programas, por ejemplo los que se refieren a una velocidad inicial de enfriamiento  $R_1$  de 20 C por seg. y una primera temperatura de punto singular  $T_{B1}$  que esté entre los 570 y 580s C nos darán unas tensiones finales en el intervalo de 94 milimicras por pulgada 3,8 milimicras por mm., que todavía son menores que las que se consideran como óptimas en los programas que traen consigo un período de parada a una temperatura constante durante el programa de recocido como ocurre en la figura 5 A. Hablando ya de cosas prácticas, la disminución en las tensiones residuales calculadas desde las 98 a las 94 milimicras por pulgada (3,94 a 3,70 milimicras por mm.) tiene menos importancia que el hecho de que estas curvas tienen unos valores mínimos más planos que los de la figura 5B. Esto nos indica que el funcionamiento con los últimos programas de tratamiento térmico en sus valores óptimos será menos difícil que el trabajar con el mejor programa ya que trae consigo un período de parada a temperatura constante.

A continuación presentamos un procedimiento que sirve para calcular la tensión en el centro de una luna de vidrio en función de sus características físicas e historia térmica y que se aplica a las relaciones entre las variables independientes que caracterizan a los programas de enfriamiento de esta invención. De esta forma se puede determinar cuales son las curvas de recocido óptimas para los programas de recocido que tengan unos tiempos y temperaturas distintos de los ejemplos concretos que se publican en esta patente.

Si consideramos la situación térmica de la luna

284834



de cristal que se enfría por igual por sus dos caras, la distribución de temperaturas después del pequeño intervalo de tiempo que es necesario para llegar a un estado de casi equilibrio en el cual disminuya la temperatura de cada punto de la luna a la misma velocidad de la temperatura media, será parabólica y la diferencia total de temperatura entre su centro y la superficie  $\Delta T$  viene dado por:

$$\Delta T = KR$$

en la que K es una constante y R es la velocidad de enfriamiento. K depende de las propiedades de transmisión del calor del vidrio en lo que se refiere a su espesor y propiedades de difundir el calor.

Las tensiones en una placa elástica que tenga una distribución parabólica de temperaturas también quedarán distribuidas en forma de parábola y así podrán fijarse sin más que quitar un sólo parametro que es la tensión en el centro. A esta le llamamos  $\Delta_c$ , y la birefringencia que corresponde a la tensión central, que se toma como positiva si el plano central está sometido a tracciones y viene dado por

$$\Delta_c = k' \Delta T$$

en donde  $k'$  es una constante que depende de las propiedades físicas del vidrio y es directamente proporcional al coeficiente de dilatación y al módulo de Young del vidrio y es inversamente proporcional al coeficiente óptico de tensiones y a la relación de Poisson del vidrio. Si sustituyéramos la primera igualdad que nos daba  $\Delta T$  en función de

284834



la constante K y la velocidad de enfriamiento R tendremos

$$\Delta_c = K K' R$$

Como comentario a la figura 1 de los dibujos podemos decir que el cambio instantáneo en la distribución de temperatura desde  $R_1$  hasta  $R_2$  hace que aparezcan las tensiones que corresponden a una birefringencia  $\Delta_c$  en el centro que viene dado por

$$\Delta_c = K K' (R_1 - R_2)$$

Estudiamos ahora la atenuación de esta tensión durante el tiempo que queda durante el cual la temperatura del vidrio está dentro del intervalo de recocido. De las curvas de atenuación de tensiones tales como las que aparecen en la figura 8 de los dibujos, la parte de la tensión inicial que queda en cualquier momento determinado se podrá hallar teniendo en cuenta las temperaturas medias del vidrio durante los intervalos arbitrarios de tiempo tomados dentro del programa de enfriamiento. Por ejemplo se ha visto que unos intervalos de tiempo que correspondan a una disminución de 5 a 10° C. en la temperatura media suministran una precisión que resulta satisfactoria.

Nos referimos ahora a la figura 9 que muestra un aparato que permite estirar una cinta continua de vidrio 16 desde un baño fundido 17. Como en el aparato corriente de estirar se forma una cámara de estirado 18 en parte con los bloques en forma de L 19 los enfriadores 20 con ventilación y agua, y las artesas de recogida enfriadas veinticuatro, todo lo cual cierra un cierto volumen situado encima del baño, y suministra una atmósfera apropiada para

284834



1953

la formación de la cinta. Los cambiadores de calor tales como los enfriadores 22 hacen más rápida la solidificación o el (cuajado) del vidrio según se va secando la cinta del baño 17 y pasando por una serie de pares de rodillos de estirar 26 de modo que llegue hasta una posición de corte (que no se dibuja) y que está varios pisos más alta que el baño. El vidrio fundido que forma el baño 17 se conserva a una temperatura de unos mil grados centígrados la cual es apropiada para el trabajo de estirado. Y según se forma la banda y se le hace pasar a través de la cámara de estirado y por el horno de recocido 30 que encierra el trozo de la cinta que está dentro de los límites de temperatura del intervalo de recocido, primeramente se enfría desde la temperatura alta mediante los enfriadores de baño 22, el aire ambiente que está dentro de la cámara de estirado 18 y las artesas de recogida enfriadas 24. De este modo se enfría el vidrio hasta una temperatura de unos 650<sup>o</sup> C. en el momento en que sale de la cámara de estirado. Esta parte del programa de enfriamiento se realiza por encima del límite superior de temperaturas del intervalo de recocido del vidrio y esto se hace en los sistemas de fabricación antiguos y en el que se describe en la invención actual.

La fig. diez indica esquemáticamente las temperaturas en la superficie de las cintas de distintos espesores y que tienen temperaturas medias idénticas en relación con sus posiciones en la máquina de estirar.

La curva de puntos indica la distribución de temperaturas de una cinta de vidrio que se ha estirado en la forma conocida y en la que la cinta se enfría en la forma

284834



natural que es característica de la máquina de estirar.

Una cinta de cristal que se deje enfriar de esta forma que esencialmente está sin regular se ha visto que tiene un nivel de tensiones permanentes residuales que no es aceptable y que a consecuencia de las mismas resulta difícil cortar el vidrio. Evidentemente es necesario evitar cualquier pérdida de vidrio por roturas en las operaciones de corte y por este motivo es importante especialmente el fijar un programa de enfriamiento que dé buen resultado y que sea compatible con los procedimientos de fabricación que ya se emplean.

Una gran diferencia de temperatura en la cinta de cristal cuando sale de la cámara de estirado de modo que se enfríe rápidamente dicha cinta empleando una velocidad inicial de enfriamiento  $R_1$  que sea mayor que la velocidad natural de enfriamiento partiendo de una temperatura que esté por encima del límite superior del intervalo de recocido hasta una temperatura que quede dentro de dicho intervalo de recocido, de acuerdo con el primer aspecto que hemos descrito en la invención actual, puede realizarse en la forma que se muestra en las figs. 9 y 10, colocando unos cambiadores de calor, tales como los enfriadores con agua 32, a cada lado de la cinta y a la entrada del horno de recocido. Estos enfriadores en parte son esencialmente paralelos a y se extienden según la anchura de la cinta en dirección transversal a la de estirado. Se prolonga la dirección del estirado durante una distancia que sea suficiente para disminuir la temperatura del vidrio hasta la temperatura del punto singular que sea apropiado en el momento conveniente, como viene citado en la lista de tiem-

284834



pos de recocido del procedimiento concreto que se emplea.  
Esta distancia aunque esencialmente es la misma para los  
distintos espesores de vidrio que se estiran en cada má-  
quina concreta, como viene indicado en las curvas de tem-  
5 peratura para los distintos espesores de cinta que pueden  
verse en la fig. 10, variarán con las distintas clases de  
máquinas de estirar y con las distintas distancias de re-  
cocido que se eligen arbitrariamente en la máquina. Prefe-  
rentemente la zona final 32' de los enfriadores está in-  
10 clinada hacia la cinta para evitar que los aparatos calen-  
tadores 34 que están adyacentes influyan en las zonas de  
la cinta que todavía están cercanas a los enfriadores. Si  
se desea practicar el segundo aspecto de esta invención  
como se describe a continuación, los colectores de aire  
15 133 se colocan cercanos a la parte más interior de cada  
enfriador 32 como puede verse en la fig. 9 y del mismo mo-  
do en el final de los enfriadores 32 de la fig. 10, en  
donde habrá el correspondiente aumento de inclinación,  
que es parecido al que aparece en la fig. 14 (que no se  
20 representa, si está presente en el punto singular de la  
curva de enfriamiento en cuyo punto varían las veloci-  
dades de enfriamiento), y tienen sus aberturas de modo que  
están orientadas para dirigir una corriente relativamente  
estrecha de aire de enfriamiento contra la superficie más  
25 cercana de la cinta de cristal y a través de la anchura de  
la misma.

Cuando pasa la cinta por los enfriadores 32, su  
velocidad de enfriamiento está variada por los aparatos ca-  
lentadores 34 y el recinto 30 que retrasa su velocidad de  
enfriamiento normal (que se representa con líneas de pun-  
30

284834



tos en la fig. 10), hasta llegar a la velocidad constante  $R_2$  que es menor que la anterior. Evidentemente desde el punto de vista de la fabricación, una variación lineal  $R_2$  es ventajosa porque se consigue más fácilmente y también se reproduce con más facilidad que las velocidades de enfriamiento que no son proporcionales. Sin embargo unas pequeñas variaciones en la proporcionalidad de esta variación debido a cambios de posición de los elementos de la máquina o a otras causas tales como errores o faltas de precisión en la regulación, generalmente no perjudicarán al resultado del recocido. Los errores en la velocidad inicial de enfriamiento o en la temperatura a la que se cambian dichas velocidades de enfriamiento tienen una influencia más pronunciada sobre el recocido que así se produce y es necesario regularlas cuidadosamente para conseguir resultados óptimos.

Los aparatos calentadores 34 están divididos en el sentido de la anchura de la hoja en tres secciones con regulación independiente, tal como puede verse en la fig. 9. De esta manera se las puede regular para compensar el enfriamiento desigual que aparece con frecuencia en el sentido de la anchura de la hoja y que es especialmente pronunciado en sus bordes. Evidentemente es posible disminuyendo en parte la flexibilidad de la regulación, simplemente aislar el horno de recocido con el fin de retrasar el tratamiento de enfriado de la cinta y establecer una velocidad de enfriamiento  $R_2$  que es más pequeña.

Los enfriadores 36 están colocados en la parte superior o de salida del horno de recocido de la fig. 9. y están situados a cada lado de la cinta. Estos enfriadores

284834



5 esencialmente son paralelos a la cinta y aumentan su anchura transversalmente a la dirección del estirado. De este modo la velocidad final de enfriamiento del vidrio que es conveniente aumentar en este momento se puede establecer de modo que se disminuya la temperatura desde un punto que está dentro del intervalo de recocido hasta una temperatura más baja que dicho intervalo de recocido.

10 Existe también la solución que se ve en la fig. 10, de poner unas puertas 37 en los costados de la máquina y que se pueden abrir en este punto para conseguir un aumento en la velocidad de enfriamiento. Mientras se empleen estos enfriadores o aberturas para conseguir las curvas que se prefieren de la forma que aparece en el gráfico de la fig. 10, se puede conseguir un recocido aceptable suprimiendo el enfriamiento en este punto y preparando un solo punto singular en la curva de recocido.

15 A continuación citamos un ejemplo que no limita las aplicaciones de esta patente, de una forma de fabricación que preferimos para conseguir lunas de vidrio y en el que se emplea el aspecto que acabamos de citar en la presente invención con el fin de conseguir una tensión resultante baja en el producto final.

20 Una cinta de vidrio que tenga aproximadamente cien pulgadas (250 mm.) de anchura y  $7/32$  de pulgada (5,5 mm.) de espesor se forma continuamente al ser estirada mecánicamente desde un baño de vidrio fundido que está cerrado parcialmente y que se mantiene a una temperatura de 1.000 grados centígrados aproximadamente y que está formado por

284834



Tanto por ciento en peso

	$\text{SiO}_2$	71,38
	$\text{Na}_2\text{O}$	12,79
	$\text{CaO}$	9,67
5	$\text{MgO}$	4,33
	$\text{SO}_4 \text{ Na}_2$	0,75
	$\text{ClNa}$	0,12
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,15
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,81

10

La cinta que se forma y estira hacia arriba por la tracción de unos pares de rodillos opuestos que obran sobre el trozo de cinta que ya está formada, pasan primeramente entre un par de cambiadores de calor colocados verticalmente dentro de la cámara de estirado y que quitan el calor de la cinta y de la cámara de estirado a una velocidad de aproximadamente 8.640 BTU por minuto (2.260 kilo calorías por minuto). Además los enfriadores con ventilador que forman en parte la cámara de estirado, quitan calor de la cinta y de la cámara de estirado a la velocidad de 1.970 BTU por minuto (490 kilo calorías por minuto). Mientras la cinta se mueve hacia arriba y el trozo de la misma que se estudia sale de la cámara de estirado, las artesas de recogida enfriadas que están colocadas a ambos lados de la cinta en el extremo de salida de la cámara de estirado retiran calor de la cinta y de la cámara de estirado a la velocidad de 12.600 BTU por minuto (3150 kilo calorías por minuto). De este modo la temperatura de la cinta de cristal se disminuye hasta una temperatura en su superficie de 635 grados centígrados en el momento en que

30

284834



5 sale de la cámara de estirado. Otro par de enfriadores es  
tá situado de modo que cada uno de ellos queda sobre una  
cara de la cinta, y situado precisamente encima de la cá-  
mara de estirado y dentro del trozo cerrado de la máquina  
de estirar los cuales retiran calor a la velocidad de  
1.085 BTU por minuto (265 kilo calorías por minuto) con  
el fin de disminuir la temperatura de la cinta con una ve-  
locidad mayor que casi es constante respecto a la veloci-  
dad natural de enfriamiento desde 635 hasta 560 grados  
10 centígrados medidos en la superficie de la cinta en 45 se-  
gundos aproximadamente desde el momento en que la cinta  
entra en la parte cerrada de la máquina colocada encima  
de la cámara de estirado. En los próximos 65 segundos a-  
proximadamente, la velocidad natural de enfriamiento de  
15 la cinta viene retrasada por algunos elementos aislantes  
y calentadores que están colocados dentro de la zona ce-  
rrada de la máquina de estirar, y en ese tiempo la tempera-  
tura de la superficie de la cinta baja hasta la tempera-  
tura aproximada de 545 grados centígrados. Con este fin  
20 se dividen los aparatos calentadores en tres zonas verti-  
cales tal como vienen indicado en la figura 9, de los di-  
bujos. La energía eléctrica se consume en la cantidad de  
400 wátios en la primera zona, 300 Wátios en la segunda,  
y 200 Wátios en la tercera con el fin de disminuir la ve-  
locidad de enfriamiento de la cinta. Los próximos 20 segun-  
25 dos aproximadamente, viene aumentada la velocidad de en-  
friamiento de la cinta por encima de su velocidad natural,  
abriendo los costados de la máquina para que se disminuya  
la temperatura de la cinta hasta aproximadamente 515 grados  
30 centígrados medidos en su superficie. Es necesario decir

284834



ahora que el intervalo de recocido del vidrio, expresado en temperatura media, es en este ejemplo, de aproximadamente 600 hasta 520 grados centígrados. Esto corresponde a un intervalo expresado en temperaturas de la superficie del vidrio de aproximadamente 585 hasta 515º C. Entonces se enfría la cinta a través de su intervalo de recocido en 100 segundos aproximadamente. A continuación se enfría la temperatura aproximada de 90º C. y entonces dicha cinta se corta en hojas independientes. La birefringencia central de la hoja de 7/32 pulgadas de espesor (5,5 mm.) que se ha recocido de esta forma, tal como viene indicada por la diferencia de trayectorias que aparece entre dos ondas de luz polarizadas en dos planos y que pasan a través del cristal que se miden en la forma que hemos explicado anteriormente es de aproximadamente 110 a 120 milimicras por pulgada (44 a 47 milimicras por mm.). Como se podía esperar estos mínimos teóricos de tensiones generalmente solo se puede intentar acercarse a los mismos pero no se pueden conseguir realmente en el trabajo práctico. A título de comparación unas cintas parecidas de cristal que se han estirado en la misma máquina, pero dejándolas que se enfríen naturalmente (por ejemplo sin emplear los enfriadores con agua y los calentadores puestos encima de la cámara de estirado) tienen unas tensiones resultantes comprendidas entre 220 y 250 milimicras por pulgada (48 a 50 milimicras por mm.).

En varias formas de trabajo, evidentemente el intervalo real de enfriamiento y la temperatura del punto singular es posible que sean distintas de las que se citan en los ejemplos, los cuales se describen únicamente

284834



5 para aclarar esta patente, pero esto es debido a factores que dependen de la máquina y del trabajo así como, de variaciones en el tiempo de recocido. Las primeras aplicaciones de los programas de recocido que se citan en esta patente, desde un punto de vista industrial es para los procedimientos en los que el tiempo disponible para el recocido es menor de 10 minutos y generalmente está entre medio a 5 minutos. Respecto a las máquinas de estirar vidrio, debemos hacer resaltar que no existen dos máquinas idénticas y que las pequeñas diferencias en los objetos que la rodean, posición de la máquina respecto al baño fundido, etc., tienen mucha influencia en el funcionamiento de cada máquina.

15 En forma general podemos decir que el recocido que describimos aquí en este aspecto de la invención se consigue enfriando rápidamente el vidrio desde el valor más alto del intervalo del recocido hasta una temperatura que esté comprendida entre el 20 y el 70% de este intervalo (medido desde el valor máximo del mismo y considerando que su valor mínimo es el 100% del mismo). Y después enfriando el vidrio a una velocidad media neta que es claramente menor hacia la parte final de dicho intervalo. Normalmente, la primera velocidad de enfriamiento es por lo menos aproximadamente un 10% mayor que la velocidad media de enfriamiento lineal durante todo el tiempo de recocido de que se dispone.

25 La velocidad media neta en cualquier trozo de programa de recocido y la velocidad media de enfriamiento lineal durante todo el programa se calcula dividiendo la caída de temperatura durante el enfriamiento del vidrio

284834



5 por el tiempo durante el cual se realiza dicho enfriamiento. Por ejemplo si la temperatura en la superficie del vidrio ha disminuido 75° C. durante todo el programa de recocido y el tiempo disponible para recocer es de 100 segundos, la velocidad de enfriamiento media lineal para todo el programa y expresada en temperaturas en la superficie es de 75/100 o bien 0,75 grados por segundo. También se puede expresar esta velocidad en grados centígrados respecto a un 1% del tiempo total disponible para el recocido.

10

Para la mayoría de los fines la primera y más rápida velocidad media lineal neta de enfriamiento debe ser por lo menos de 0,9° C. por cada uno por ciento del tiempo total disponible para el recocido.

15 La velocidad inferior se puede emplear como velocidad lineal de enfriamiento desde el punto singular de cambio en la velocidad de enfriamiento hasta la parte inferior del intervalo de recocido o bien, se puede usar en forma de 2 ó más velocidades de enfriamiento, por ejemplo, una velocidad más lenta y después otra más rápida. En este último caso el segundo cambio de velocidad de enfriamiento puede realizarse dentro de un intervalo del 30 al 95% del intervalo de recocido, medido desde su valor máximo, según acabamos de decir. En el primer caso el cambio de velocidades de enfriamiento generalmente se realiza dentro de un intervalo de aproximadamente 25 a 45% del intervalo de recocido tal como hemos medido en el estudio que acabamos de hacer.

20

25

30 Generalmente para conseguir mejor la disminución de las tensiones residuales permanentes cuando se aplica

284834



un programa de recocido con dos puntos singulares a un vi-  
drio de sosa cal y sílice del espesor y clase que se han  
citado en el ejemplo y en el tiempo que se ha citado tam-  
bién en el mismo, el primer cambio en la velocidad de en-  
friamiento dentro del intervalo de recocido debe aparecer  
5 entre las temperaturas medias de 585 y 550° C. (o entre  
las temperaturas en la superficie de 575 y 540° C.). Y el  
segundo cambio debe aparecer a una temperatura menor que  
la primera y entre las temperaturas medias de 570 y 525°  
10 C. (o entre las temperaturas en la superficie de 565 y  
520° C.). Cuando se emplea un programa de recocido con un  
solo punto singular, en el que la primera velocidad es  
más rápida que la segunda el cambio en las velocidades de  
enfriamiento debe aparecer entre las temperaturas medias  
15 de aproximadamente 585 y 570° C. (o entre las temperatu-  
ras en la superficie de unos 575 y 555° C.). La relación  
de la primera velocidad media de enfriamiento neta respec-  
to a la segunda velocidad de enfriamiento media neta y de  
menor valor en el resto del tiempo de recocido de que se  
20 dispone ya sea empleando un programa con uno o dos o más  
puntos singulares, normalmente no es mayor que 10, prefiriéndose  
que sea menor de 8, pero evidentemente tiene que  
ser mayor de la unidad.

En los programas de recocido que se prefieren, en  
25 los que primeramente se disminuye la temperatura de la  
cinta de vidrio dentro del intervalo de recocido a una ve-  
locidad de enfriamiento que es más rápida que la velocidad  
de enfriamiento que se emplee inmediatamente después el  
cambio de la primera velocidad a la segunda que es menor  
30 deberá realizarse antes de que haya pasado aproximadamen-

284834



5 te el 40% de todo el tiempo de recocido de que se dispone y en la mayoría de los casos después de que haya pasado aproximadamente el 10% de este tiempo de recocido disponible. La primera velocidad media de enfriamiento neta es por lo menos aproximadamente de 0,9 (en muy pocos casos es más de 5 a 10 aproximadamente) grados centígrados por cada uno por ciento del tiempo total disponible para el recocido.

10 Para conseguir económicamente la disminución que se desea en la tensión final del vidrio, es importante que el enfriamiento avance casi continuamente. Por lo tanto, la velocidad de enfriamiento media neta sobre cualquier intervalo de un 5% del tiempo total de recocido no debe ser menor que 0,2° C. por cada 1% del tiempo total de recocido de que se dispone.

15 Como hemos dicho antes, el segundo enfriamiento se puede hacer en dos etapas, por ejemplo, primeramente a 0,3 grados y posteriormente a 0,6 ó 1,5 grados (o todavía más) por cada 1% del tiempo total de recocido. En tal caso la velocidad media neta de enfriamiento durante el segundo enfriamiento puede quedar en algún punto intermedio entre las velocidades de las dos etapas. La velocidad media neta de enfriamiento que se emplee para disminuir la temperatura desde el intervalo de 575 - 540° C. hasta el punto más bajo del intervalo de recocido no es mayor de 0,65 ya que generalmente no pasa de 0,6° C. por cada 1% del tiempo total de recocido de que se dispone (es el tiempo de que se dispone para el enfriamiento desde el valor más alto del intervalo de recocido hasta el valor más bajo del mismo).

20

25

30

284834



En una ejecución de este aspecto de la invención en el que se emplea el programa de enfriamiento que aparece en curva ADC de la fig. 3A, se enfría el vidrio desde una temperatura aproximada en su superficie de 590° C.

5 hasta una temperatura que sea menor de unos 560° C. durante un tiempo que comprenden la mayor parte del tiempo total disponible que normalmente es el 55% o más de este tiempo. Este enfriamiento en la primera etapa se realiza normalmente ya sea con una velocidad uniforme de enfriamiento o bien con varias velocidades, pero en cualquier caso la velocidad media neta de enfriamiento no será menor de unos 0,2° C. ni mayor que unos 0,7° C. por cada 1% del tiempo total disponible para el recocido. Después de enfriarlo hasta un nivel que sea inferior a los 555 grados pero mayor de unos 540 grados centígrados de temperatura en la superficie, se enfría el vidrio a una velocidad mayor con el fin de terminar el recocido dentro del tiempo disponible. Aunque este procedimiento tiene buen rendimiento, presenta la desventaja de que como la temperatura del vidrio está alta durante una parte importante de recocido, esto puede producir unas marcas perjudiciales en el vidrio que son producidas por los rodillos de estirar o los otros aparatos de transporte mientras el vidrio pasa a través de la etapa de recocido en esta operación.

Si nos referimos al ejemplo concreto que hemos descrito anteriormente al referirnos a la fig. 10, en el que una cinta de vidrio se enfría primeramente desde 585° C. hasta 560° C. (temperatura en su superficie) durante aproximadamente 15 segundos de un programa de recocido de 100

284834



segundos (o sea, en un 15% del tiempo total de recocido),

la primera velocidad media neta de enfriamiento será:

25°C.

$\frac{25^\circ\text{C.}}{15\% \text{ del tiempo total de recocido}} = 1,67^\circ\text{C por cada } 1\% \text{ del tiempo total de recocido.}$

5

Entonces se enfría el vidrio a una velocidad menor desde 560°C. hasta 545°C. en aproximadamente 65 segundos (o sea, un 65% del tiempo total de recocido), y la velocidad media neta de enfriamiento durante la segunda etapa será:

15°C

$\frac{15^\circ\text{C.}}{65\% \text{ del tiempo total de recocido}} = 0,23^\circ\text{C. por cada } 1\% \text{ del tiempo total de recocido.}$

10

La tercera etapa de enfriamiento por sí misma disminuye la temperatura del vidrio desde 545°C. hasta 515°C. en 20 segundos (o sea, un 20% del tiempo total de recocido).

15

Y la velocidad media neta de enfriamiento en esta etapa será:

30°C.

$\frac{30^\circ\text{C.}}{20\% \text{ del tiempo total de recocido}} = 1,5^\circ\text{C. por cada } 1\% \text{ del tiempo total de recocido.}$

20

Como la segunda y tercera etapas de enfriamiento entre ambas disminuyen la temperatura del vidrio desde 560°C. hasta 515°C. en 85 segundos (o sea, un 85% del tiempo total de recocido) la velocidad media neta de enfriamiento del vidrio desde el primer punto singular en el programa de enfriamiento hasta el límite inferior del intervalo de recocido será:

25

45°C.

$\frac{45^\circ\text{C.}}{85\% \text{ del tiempo total de recocido}} = 0,53^\circ\text{C. por cada } 1\% \text{ del tiempo total de recocido.}$

30

284834



Un horno de recocido típico y horizontal que se emplea para recocer una cinta continua y laminada de vidrio se muestra esquemáticamente en la fig. 11 de los dibujos. La cinta 40 primeramente recibe su forma en el sistema corriente por medio de los rodillos conformadores 41 y 42 que lo toman de un baño fundido de vidrio 44 que va colocado en el depósito 45 y después es transportado por los rodillos transportadores 46 que van desde el depósito hacia el horno de recocido 48. Cuando dicha cinta entra en el horno, los enfriadores 50 que están colocados en el interior del horno y a cada lado de la cinta producen una velocidad inicial de enfriamiento que sirve para disminuir la temperatura en toda la anchura de la cinta laminada con una velocidad constante hasta que llegue a una temperatura que esté dentro del intervalo de recocido. Según pasa la cinta más allá de los enfriadores 50 los aparatos de calefacción 52 colocados en cada lado de la cinta y dentro del horno disminuyen la velocidad de enfriamiento del vidrio hasta conseguir una velocidad de enfriamiento constante y más gradual. Esta velocidad de enfriamiento se sigue empleando mientras se transporta la cinta de vidrio a través del horno de recocido horizontal sobre los rodillos 54 hasta que la temperatura de la cinta haya bajado hasta el segundo punto singular del intervalo de recocido. Los enfriadores 56 que se extienden por toda la anchura de la cinta en el extremo de salida del horno producen una velocidad más rápida de enfriamiento en este punto y disminuyen la temperatura del vidrio por debajo del intervalo de recocido. De este modo, se pueda establecer una curva de recocido que tenga buen rendimiento y se pueda regu

284834



lar fácilmente, y que, si se busca su forma óptima mediante el sistema que hemos explicado anteriormente cuando tratábamos de la máquina de estirar suministrará una tensión residual mínima que esté de acuerdo con la tensión primitiva y el tiempo de recocido y que hasta ahora solamente se podía obtener siguiendo la curva teórica que propusieron Adams and Williamson.

La fig. 12 presenta esquemáticamente un horno de recocido 60 y la curva de temperatura que se ha calculado para recocer hojas o lunas de vidrio que se han recalentado (tal como ocurre con las hojas que se han calentado por encima del intervalo de recocido hasta un estado que esencialmente carezca de tensiones cuando se las quiere doblar) de acuerdo con esta invención. Los aparatos de calentamiento 62 colocados en el interior del horno y a cada lado de las hojas o lunas de vidrio 64, elevan su temperatura hasta una temperatura que sea mayor que el intervalo de recocido mientras se transporta el vidrio a través del horno puesto sobre aparatos transportadores tales como los rodillos 66. Después de que el vidrio ha llegado a una temperatura que sea lo bastante por encima del intervalo de recocido, para que sus tensiones internas se atenuen rápidamente, pasa por los enfriadores 68 que se extienden por toda la anchura de la parte interior del horno y en ambas caras del vidrio. Estos enfriadores disminuyen la temperatura del vidrio a una velocidad rápida y casi constante hasta que llegue a una temperatura que esté dentro del intervalo de recocido. Unos sistemas de calentamiento, tales como, los elementos eléctricos 70 que estén colocados en el interior del horno y a cada lado del

284834



vidrio, establecen en este momento una velocidad de enfriamiento más pequeña pero que casi es constante hasta que la temperatura del vidrio baja hasta un punto que esté cercano al límite inferior del intervalo de recocido, después de lo cual los enfriadores 72 que se extienden en todo lo ancho del horno, en cada costado y en el extremo de salida del mismo disminuyen rápidamente la temperatura del vidrio por debajo del intervalo de recocido.

Las figs. 13-21 representan un segundo aspecto de esta invención. La fig. 13 consta de 3 curvas que representan de acuerdo con la invención actual, un programa de recocido de una luna de vidrio expresando la temperatura  $T$  de su superficie (Fig. 13 A), la velocidad  $R$ . de enfriamiento y la diferencia de temperaturas  $\Delta T$  entre el centro y las superficies exteriores de la luna (Fig. 13 B), y la tensión que exista en aquel instante expresada mediante la birefringencia central  $\Delta_c$  (Fig. 13 C), todos ellos dibujados encima de una escala de tiempos común. La escala de tiempos de estas curvas se ha ampliado lo suficiente para que incluya las consecuencias de las distribuciones instantáneas de temperatura y tensiones que influyen en el programa de recocido. Especialmente las figs. 14 y 15 representan los cambios en las distribuciones de temperatura y tensiones durante el corto período de tiempo en que el vidrio se enfría rápidamente por ejemplo con un chorro de aire, y en el cual es necesario estudiar fenómenos instantáneos.

Nos referimos a la fig. 13 A que representa un programa de recocido en el que se enfría el vidrio desde un punto más alto que el intervalo de recocido hasta una

284834



11-53

temperatura  $T_{B_1}$  que esté dentro del intervalo de recocido a una primera velocidad  $R_1$ . Posteriormente se enfría rápidamente la superficie del vidrio durante un tiempo corto hasta una temperatura  $T_{B_x}$  que esté dentro del intervalo de recocido a una segunda velocidad  $R_2$ . Si se cambia la velocidad de enfriamiento  $R_2$  por las velocidades  $R_3$  o bien  $R_3'$ , la temperatura de la superficie aumenta inmediatamente porque el calor del interior del vidrio se escapa hacia la superficie que está más fría. Con esto se consigue en un tiempo  $t_2$  una temperatura estabilizada  $T_{B_2}'$ . La velocidad de enfriamiento  $R_3'$  se puede establecer y continuar hasta el límite inferior del intervalo de recocido, tal como viene representada con una línea de puntos o bien preferentemente, se puede establecer una velocidad de enfriamiento  $R_3$  que sea de un tamaño tal que necesite pasar a una velocidad mayor  $R_4$  a la temperatura  $T_{B_3}$  que esté dentro del intervalo de recocido con el fin de llevar la temperatura del vidrio hasta el límite inferior del intervalo de recocido en un tiempo de recocido que se ha determinado previamente.

La fig. 13 B muestra los cambios en el intervalo de temperatura  $\triangle T$  y la velocidad de enfriamiento  $R$ , y la fig. 13 C muestra las tensiones instantáneas expresadas mediante la tensión en el centro  $\triangle C$ , que corresponde al programa de recocido que aparece en la fig. 1 A. Los trozos de línea de puntos corresponden al enfriamiento representado también con línea de puntos en la fig. 13 A. Si comparamos la curva de tensiones de la fig. 13 C con las curvas de las fig. 13 A y 13 B veremos que no existe ninguna tensión en el vidrio mientras que el intervalo

284834

29



térmico y de este modo la velocidad de enfriamiento, que se han previsto por encima del intervalo de recocido permanezcan constantes. El aumento fuerte de velocidad y enfriamiento en el momento  $t_1$ , producido por ejemplo, por un chorro de aire frío que choca con el vidrio, produce la tensión correspondiente que aparece en la dirección de un aumento en la compresión central (disminución de la tensión en el centro). Como las tensiones se representan sobre una escala de tiempos que revelan las influencias instantáneas de las distribuciones de temperatura y tensiones sobre el vidrio, las tensiones que existen realmente no se pueden caracterizar con precisión mediante una sola variable, tal como la tensión en el centro que exista en aquel instante  $\Delta C$  que representaría los cambios proporcionales de tensiones en todo el espesor de la luna. Esto se comprenderá mejor si estudiamos las figs. 14 y 15 de los dibujos.

La curva dibujada de puntos  $T_m$  de la fig. 14 A nos muestra la variación de la temperatura media en este trozo de la curva de la fig. 13 A entre los momentos  $t_1$  y  $t_2$ . Las variaciones de las temperaturas en la superficie y en el centro de la luna de vidrio vienen representadas por las curvas de línea continua  $T_s$  y  $T_c$ , respectivamente. Estas líneas primeramente son paralelas, lo que nos indica que el intervalo térmico está en equilibrio. En el momento  $t_1$  el vidrio que se estaba enfriando a la velocidad  $R_1$  se enfría rápidamente, mediante un chorro de aire que choca con su superficie o un medio semejante, durante el cierto intervalo de tiempo que queda entre  $t_1$  y  $t_x$ . En el momento  $t_1$  la temperatura en la superficie de la luna de

284834



vidrio disminuye rápidamente pero, como antes, su temperatura en el centro no varía. En el tiempo aproximado  $t_x$  la temperatura en el centro comienza a disminuir a una velocidad grande y continúa bajando rápidamente hasta llegar al momento  $t_2$ . Desde el momento  $t_x$  hasta el momento  $t_2$  la temperatura en la superficie aumenta en una cantidad del orden de la mitad del valor que ha bajado durante el enfriamiento rápido. De este modo llega en el momento  $t_2$  a un estado de equilibrio que viene indicado por las curvas paralelas de temperatura de dicho gráfico que tiene una inclinación que viene determinada por las variables que influyen en el enfriamiento y que producen la menor velocidad de enfriamiento  $R_3$ . Debemos fijarnos en que la velocidad de enfriamiento  $R_3$  comienza en una temperatura que está bastante separada de la temperatura que existía antes de llegar a los chorros de aire. Este puede tener un tamaño de unos 150 C. La curva de la fig. 13 C nos indica esquemáticamente que esta disminución en la temperatura se ha realizado solamente a consecuencia de la variación en la cantidad de tensiones. (que viene indicada por la diferencia entre los valores de las tensiones de A y B) que se han atenuado entre los momentos  $t_1$  y  $t_2$ . Sin embargo como se puede ver con más precisión en la curva detallada de la fig. 14 C., la atenuación de tensiones durante un intervalo de temperatura que está variando realmente no se puede separar de una variación de tensiones que se producen al suprimirse el intervalo de temperatura producido por el enfriamiento rápido. La disminución de temperatura en el comienzo de la velocidad  $R_3$  (fig. 13 A.) disminuye la inclinación de la velocidad  $R_3$  que es neces

284834



5      ría para disminuir la temperatura del vidrio hasta una temperatura fija, tal como la  $T_{B_3}$ , y por lo tanto las tensiones se atenúan durante esta velocidad de enfriamiento y tienden hacia un estado más isotérmico. Por otra parte si la inclinación de  $R_3$  no se disminuye, su menor punto de origen permite que el nivel más bajo del intervalo del recocido se pueda alcanzar mediante un tiempo de recocido más corto.

10      La Fig. 15 de los dibujos, muestra esquemáticamente la influencia de un enfriamiento exterior sobre una luna de vidrio que inicialmente estaba en estado isotérmico y a una temperatura que es inferior y está cercana al límite superior del intervalo de recocido. La temperatura y la distribución de tensiones que vienen indicadas con línea continua, representan las condiciones que existen al  
15      comienzo del paso de un intervalo de temperaturas isotérmico que viene representado con línea de puntos hacia un estado de equilibrio, con distribución parabólica que se representa con línea de puntos. Como la variación de distribución de temperaturas en el interior de una luna de  
20      vidrio de grueso moderado al cambiar las condiciones térmicas de su ambiente, es relativamente rápida, el tiempo que transcurre durante el paso desde su estado isotérmico, pasando por el ejemplo representado con línea continua de  
25      una distribución provisional, para llegar hasta la línea de puntos que representa las temperaturas y distribuciones de tensiones que aparecen durante su equilibrio, es muy corto si se le compara con el tiempo que es necesario para recocer el vidrio. Por ejemplo una luna de 3 mm. de  
30      grueso conseguirá su nueva distribución de temperaturas

284834

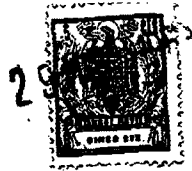


durante el equilibrio, en un tiempo aproximado de 2 segundos y una luna de 6 mm. en unos 8 segundos.

La distribución de temperaturas representada con línea continua, en la Fig. 15 nos indica que la influencia inicial del enfriamiento externo, es el disminuir la temperatura de la superficie de la luna sin hacer variar la de su zona central. En relación con lo anterior podemos ver que, la curva de distribución que está representada con línea continua nos muestra que solamente están sometidos a tensiones los trozos de la superficie de la luna que han sido enfriados. Esto es verdadero, porque vemos que a estas temperaturas elevadas del vidrio, la zona central de la luna todavía está demasiado caliente para poder sostener una tensión. Por este motivo la tensión total en el vidrio quedará baja, y habrá muy poca atenuación de tensiones si se conserva la distribución del enfriamiento, las tensiones que produzca la puesta en práctica de esta distribución llegarán a un equilibrio y como son de mayor importancia, comenzarán a atenuarse con una velocidad notable por medio del movimiento viscoso del vidrio.

Esta atenuación continúa mientras que permanezca dicha distribución y la temperatura del vidrio también quede dentro del intervalo de recocido. Sin embargo si este enfriamiento rápido se cambia por una velocidad menor antes de que la temperatura y las distribuciones de tensiones correspondientes a la mayor velocidad de enfriamiento, lleguen a un estado de equilibrio, las tensiones que se producen al implantar un enfriamiento rápido, desaparecerán porque se ha disminuído la velocidad de enfria-

284834



miento antes de que haya podido aparecer una atenuación notable. Algunas tensiones evidentemente se atenúan aun durante este tiempo tan corto. Su cantidad sin embargo es pequeña no solo porque el tiempo es corto sino también porque la velocidad de atenuación de tensiones se mantiene baja debido al bajo nivel de tensiones absolutas que existen en el vidrio y que es debido a que la zona central de la luna que es menos viscosa no puede soportar tensiones. Por lo tanto puede verse que un enfriamiento rápido realizado en un tiempo algo menor que el que se necesita para establecer una distribución permanente a través de todo el espesor del vidrio, disminuye su temperatura, sin crear una cantidad notable de tensiones residuales permanentes.

Volvemos otra vez a la fig. 13 C en la que resulta más cómodo dibujar los valores medios de las tensiones en todo el espesor del vidrio durante los períodos de transición desde una velocidad de enfriamiento a la siguiente. Como hemos dicho antes y por las razones que acabamos de explicar estos trozos de la curva no nos indican los valores de las tensiones expresados por la tensión en el centro de la luna tal como lo hacen otros trozos de dicho gráfico. A consecuencia de esto la curva resulta parcialmente algo deformada pero sin embargo puede ayudar a comprender los cambios de tensiones que producen el programa de enfriamiento.

Las tensiones que se indican como cero para este trozo del programa de enfriamiento durante el cual permanece constante el intervalo que se ha establecido por encima del intervalo de recocido se cambiará desde el momento  $t_1$  hasta el  $t_2$  con los intervalos de temperatura que

284834

29



se producen al aplicar y retirar un enfriamiento exterior rápido. El tiempo que pasa durante esta etapa es lo bastante corto para que el vidrio aunque esté todavía en el interior de su intervalo de recocido, no tenga tiempo suficiente para atenuar por medio de un alargamiento viscoso una proporción notable de las tensiones que se le han añadido. La cantidad real que desaparece viene indicada esquemáticamente por la diferencia entre los valores de las tensiones en los puntos A y B en la fig. 13 C. En el momento  $t_x$  la velocidad de enfriamiento pasa a ser  $R_3$  y el cambio en la distribución de temperatura desde el que producía la velocidad  $R_2$  al que produce la  $R_3$  produce una tensión que tiene la dirección del aumento de las tensiones en el centro. Este cambio elimina la cantidad de esfuerzo de compresión central que viene indicado por B y que existía en el vidrio en el momento  $t_x$  cuando se disminuye la velocidad de enfriamiento y a consecuencia de la importancia de la disminución en la velocidad de enfriamiento desde  $R_1$  hasta  $R_3$  más la cantidad de tensión que se ha atenuado al pasar desde A a B, produce una tensión central instantánea cuya magnitud viene indicada por C en el momento  $t_2$ . De este modo si comparamos las curvas 13 A. y 13 C., podrá verse que la caída de temperaturas en el vidrio desde  $T_{B_1}$  hasta  $T_{B_2}$  se realizó a costa solamente de la pequeña cantidad de tensiones que se atenuaron desde el momento  $t_1$  hasta el momento  $t_2$ . Los valores reales de las tensiones en los puntos A, B, y C. indican solamente tensiones provisionales que no influyen sobre las tensiones finales y permanentes del vidrio, excepto en la cantidad en que se atenúan debido a la fluencia viscosa del vi

284834



drio. Las tensiones que existen en el momento  $t_2$  y que vienen indicadas por el punto C. de la curva ideal o por C' de la línea de puntos simplificada, se atenúa mientras se aplica la velocidad de enfriamiento  $R_3$  o bien la  $R_3'$  en la dirección que disminuye la tensión en el centro del vidrio hasta que según puede verse en las líneas de puntos, la temperatura del vidrio llegue al límite inferior del intervalo de recocido o bien como puede verse en la línea continua, hasta que la velocidad de enfriamiento se cambie otra vez en el momento  $t_3$ . Como un cambio en el momento  $t_3$  produce un aumento en la distribución de temperatura, producirá una tensión en la dirección que disminuye la tensión en el centro (aumentan la compresión en el centro) y como puede verse en la curva de la fig. 13 C. cualquier atenuación de tensiones después del momento  $t_3$  tratará de aumentar la tensión en el centro y también aumentar la tensión residual. Sin embargo la cantidad de tensión que se atenúa es pequeña porque la temperatura del vidrio es relativamente baja dentro del intervalo de recocido (y por este motivo la velocidad de atenuación también es baja) y el aumento en la velocidad de enfriamiento  $R_4$  disminuye la temperatura del vidrio muy rápidamente hasta que sea inferior al intervalo de recocido, con lo cual se limita el tiempo en el que se pueden atenuar las tensiones. Una vez que la temperatura del vidrio haya llegado al límite inferior del intervalo de recocido en el momento  $t_4$ , se puede considerar que el vidrio es un material elástico, y la disminución de  $\Delta T$  desde el momento  $t_5$  hasta que se llegue al estado isotérmico a la temperatura ambiente produce un aumento de tensiones que

284834



serán las tensiones residuales permanentes y finales que se producen en el vidrio a consecuencia de su historia térmica. Esta tensión equivale a las tensiones que se producirían si enfriásemos el vidrio a través del intervalo de recocido a la primera velocidad  $R_1$  sumándole la cantidad de tensión que se atenúa durante las velocidades  $R_2$  y  $R_4$ , y restándole la cantidad de tensión que se atenúa durante la velocidad  $R_3$ . Deseamos hacer resaltar en este momento que la notable caída de temperaturas desde  $T_{P1}$  hasta  $T_{P2}$  a costa del aumento en la tensión final que viene producida por la atenuación de tensiones entre los momentos  $t_1$   $t_2$  permite reducir la velocidad  $R_3$  hasta tal punto que aumente la atenuación de tensiones que resulta favorable (porque tiene la dirección que disminuye la tensión en el centro) de modo que haga más que compensar el pequeño aumento en la tensión final que viene producido por la atenuación de tensiones entre los momentos  $t_1$  y  $t_2$ . Este es debido a que el vidrio no tiene tiempo para adaptarse por medio de un movimiento viscoso a la rápida velocidad de enfriamiento  $R_2$  y por lo tanto la caída de temperaturas que produce esta velocidad de enfriamiento se consigue sin que la curva de tensiones sufra un cambio proporcional a la misma.

Además del programa de recocido que acabamos de describir los fundamentos de este aspecto de la invención actual han hecho posible el empleo de un programa de recocido enteramente nuevo que se comprenderá mejor estudiando la fig. 16. la cual consta de tres curvas, de las que la 16 A. representa la temperatura de una luna de vidrio que sufre un procedimiento de enfriado que está de acuer-

284834



do con la invención actual y que se representa en rela-  
ción con el tiempo, la 16 B. en la que las velocidades de  
enfriamiento  $R$  y las distribuciones de temperatura  $\triangle T$   
entre el centro y la superficie de la luna de cristal se  
representan respecto al tiempo, y la 16 C. en la que se  
representan las tensiones instantáneas que existen en el  
vidrio expresadas en forma de tensión  $\triangle C$ . en el cen-  
tro y representadas en relación con el tiempo. Lo mismo  
que ocurre en las curvas de la fig. 13 aquí también se ha  
ampliado la escala de tiempos lo suficiente para que pue-  
da representar las consecuencias instantáneas que produ-  
cen los cambios en el programa de enfriamiento. Por este  
motivo y tal como decíamos al estudiar la fig. 1, los  
trozos de la curva que corresponden a los cambios instan-  
táneos no indican con precisión el valor de la variable  
que se representa pero sin embargo ayudan a comprender el  
programa de recocido. Como puede verse en la fig. 16 A.,  
mientras el vidrio se enfría con su velocidad natural  $R_1$   
recibe un chorro de aire desde el momento  $t_1$  hasta el mo-  
mento  $t_x$  de modo que se enfría desde una temperatura supe-  
rior al intervalo de recocido hasta una temperatura algo  
alta y que está dentro del intervalo del recocido, con  
una velocidad  $R_2$  muy rápida y en un tiempo muy corto des-  
de  $t_1$  hasta  $t_2$ . En el momento  $t_2$  se enfría el vidrio con  
una velocidad mucho menor  $R_3$  que es bastante menor que la  
velocidad normal de enfriamiento del vidrio y que en rea-  
lidad se asemeja a mantener el vidrio a una temperatura  
constante. Esta etapa se repite dos veces dentro del in-  
tervalo de recocido en el ejemplo que explicamos; o sea,  
que el vidrio se enfría rápidamente, tal como viene indi-

284834



5 cado por la velocidad  $R_4$ , después se enfría muy despacio  
a la velocidad  $R_5$ , otra vez se enfría rápidamente a la ve  
locidad  $R_6$  y se enfría lentamente a la velocidad  $R_7$  pasan  
do por el límite inferior del intervalo de recocido. El  
número real de etapas que se empleen es parcialmente una  
cosa que depende de detalles prácticos. Sin embargo el  
factor principal que fija el número mínimo de etapas es  
el límite de la caída de temperaturas que se puede conse-  
guir dentro de un período de tiempo que sea lo suficiente  
mente corto para evitar una atenuación en las tensiones.  
10 Si hablamos en general esto significa que el tiempo máxi-  
mo es aproximadamente igual a la mitad del tiempo que es  
necesario para establecer una distribución que correspon-  
da al estado de equilibrio del vidrio.

15 Si comparamos las curvas de las figs. 16 A. y 16  
B. la curva de tensiones de la fig. 16 C., se podrá ver  
que no existen tensiones durante la velocidad de enfria-  
miento  $R_1$  porque se proyectó por encima del intervalo de  
recocido. En el momento  $t_1$  la tensión producida por el  
20 cambio desde la velocidad  $R_1$  hasta la velocidad  $R_2$  se ate-  
nua casi instantáneamente porque el vidrio todavía está  
demasiado líquido para que pueda soportar una tensión.  
Por lo tanto el cambio de velocidades de enfriamiento pro-  
duce una atenuación instantánea del vidrio hasta un esta-  
do que se corresponda con el producido por la velocidad  
25 rápida de enfriamiento  $R_2$ . Evidentemente si se continuase  
usando esta velocidad a través del intervalo de recocido  
no existiría ninguna atenuación de tensiones pero cuando  
se eliminase dicha distribución a la temperatura ambiente  
30 aparecería una tensión permanente muy fuerte como resulta

284834



do de la eliminación de una diferencia de temperaturas tan grande. En lugar de hacer esto se emplea la adaptación física del vidrio a la velocidad  $R_2$  aprovechando su movimiento viscoso por encima del intervalo de recocido para establecer una tensión que existe instantáneamente y que viene indicada por la línea AB de la fig. 16 C. mediante una disminución brusca de la velocidad de enfriamiento  $R_2$  en el momento  $t_x$ . Vemos que como el cambio de velocidad es de una rápida a otra más lenta, la tensión que producen tendrá la dirección que aumenta la tensión en el centro. Por este motivo la atenuación de la tensión instantánea durante el tiempo relativamente largo que va desde  $t_2$  hasta  $t_3$  tendrá la dirección que disminuye la tensión en el centro y de este modo contribuirá a disminuir la tensión final permanente. Como la temperatura del vidrio todavía es alta cuando está en el interior del intervalo de recocido, la mayoría de las tensiones producidas se atenúan durante el tiempo comprendido entre  $t_2$  y  $t_3$ . Como la velocidad de enfriamiento  $R_3$  es muy pequeña el vidrio al adaptarse físicamente por medio de la atenuación de sus tensiones a esta velocidad de enfriamiento, se acerca a su estado isotérmico. De este modo si se continuase esta velocidad de enfriamiento  $R_3$  a través del intervalo de recocido el vidrio conservaría muy pocas tensiones permanentes al llegar a su estado isotérmico a la temperatura ambiente. Evidentemente se gastaría mucho tiempo en enfriar el vidrio con una velocidad tan baja. Sin embargo este estado del vidrio en el que la diferencia entre sus temperaturas es muy cercana a la de su estado isotérmico se puede conservar en lo esencial y al mis-

284834



mo tiempo se puede conseguir una disminución notable en el tiempo de recocido respecto al que sería necesario para disminuir la temperatura del vidrio durante todo el intervalo de recocido a la velocidad  $R_3$  empleando dentro de dicho intervalo otros escalones rápidos de enfriamiento de una duración tan corta que el vidrio se comporte durante dichos escalones rápidos esencialmente con un movimiento elástico. Por lo tanto, el vidrio durante el muy corto período de tiempo comprendido entre  $t_3$  y  $t_4$ , se enfría otra vez rápidamente a la velocidad  $R_4$  mediante un chorro de aire que choca contra la superficie del vidrio. Este cambio en las velocidades de enfriamiento desde  $R_3$  hasta  $R_4$  creará unas tensiones que solamente existen durante un instante y que vienen indicadas por la línea CD. de la fig. 16 C. en la dirección de aumentar la compresión. Entonces se atenúa una pequeña cantidad de esta tensión aun en el pequeño intervalo que queda entre los momentos  $t_3$  y  $t_4$ . Esta atenuación se realiza en la dirección que aumenta la tensión final. Cuando la velocidad rápida de enfriamiento  $R_4$  se cambia entre los momentos  $t_3$  y  $t_4$  por la velocidad  $R_5$  se produce un cambio en la tensión E que existe en aquel momento en la dirección de aumentar la tensión en el centro o sea, desde E hasta F. La cantidad de tensión F que se produce en el vidrio al establecerse la velocidad de enfriamiento  $R_5$  equivale al cambio de la velocidad  $R_3$  por  $R_5$  (lo cual idealmente no sería ningún cambio en absoluto porque las velocidades  $R_3$  y  $R_5$  son aproximadamente iguales) más la cantidad de tensión que se ha atenuado entre el momento  $t_3$  y el  $t_4$ . Por lo tanto en las figs. 16A. y 16C. podrá verse que la temperatura del

284834



vidrio se ha disminuido al pasar por un trozo notable del intervalo de recocido durante la pequeña cantidad de tiempo de recocido que transcurre entre los momentos  $t_3$  y  $t_4$  a costa solamente de un pequeño aumento en las tensiones que vienen indicadas por F respecto y por encima de las que están indicadas en C, y la distribución de temperaturas a las que se adapta físicamente el vidrio y que todavía es cercana a las condiciones, isotérmicas de la temperatura ambiente. Todavía se dan uno o más saltos suplementarios semejantes al que acabamos de describir con el fin de disminuir la temperatura del vidrio a través del intervalo de recocido. Evidentemente la velocidad con que disminuyen las tensiones existentes se va reduciendo con cada etapa sucesiva de enfriamiento porque también la temperatura del vidrio va disminuyendo. Por lo tanto, la magnitud de la caída de temperatura durante las distintas etapas sucesivas de enfriamiento se debe disminuir ligeramente para reducir la atenuación perjudicial de las tensiones que aparecen durante las etapas rápidas de enfriamiento las cuales producen una atenuación que aunque es pequeña ya no se puede disminuir tan fácilmente durante una velocidad más baja de enfriamiento como ocurría cuando las temperaturas eran altas. En la forma que acabamos de explicar, la invención actual suministra un procedimiento que permite realizar la mayoría de la caída total de temperatura a través del intervalo de recocido durante un trozo muy pequeño del tiempo de recocido y con una atenuación de tensiones perjudicial y total que es muy pequeña. La mayoría del tiempo de recocido se emplea en permitir que las tensiones instantáneas se atenúen a favor de una

284834



distribución que se aproxima mucho al estado isotérmico. Esencialmente se han superpuesto unos escalones rápidos de enfriamiento sobre una velocidad básica de enfriamiento que es muy baja - es preferible cuando se acerca al estado isotérmico del vidrio - sin añadir ningún valor importante a la tensión total y permanente del vidrio en las condiciones del equilibrio que caracterizan a la velocidad de enfriamiento básica. En esta forma una luna de vidrio se puede enfriar a través de su intervalo de recocido con la cantidad mínima de tensiones resultantes posibles teniendo en cuenta el tiempo que se ha gastado.

Como hemos dicho anteriormente los aparatos que se representan en la fig. 9 y 10 están provistos de los colectores de aire 133 cuando se practica el aspecto actual de la invención. Estos colectores se deben extender a través de toda la anchura de la cinta de cristal cubriendo por lo menos un 90% de dicha anchura para asegurar que habrá una distribución de tensiones que sea aceptable y uniforme en el sentido de la anchura de la hoja. La posición relativa a la máquina de estirar de estos colectores en los que se somete el vidrio a un templado rápido por medio de aire o de otro gas que lo enfría al chocar con el mismo, siempre es constante cualquiera que sea el espesor del vidrio. Y esto es posible a pesar de que las velocidades de estirado son menores al fabricar cintas más gruesas, a causa de que para enfriar un vidrio más grueso se necesita un tiempo más largo. De este modo aunque varíe la escala de tiempos de las curvas de recocido con los distintos espesores de vidrio para cualquier distancia fija medida sobre la máquina, la posición de los cambios de

284834



temperatura quedará esencialmente constante. Evidentemente, aunque la distancia para el recocido se puede considerar como constante, cualquiera que sea el espesor del vidrio en una máquina concreta, esta distancia variará en los tipos distintos de máquinas de estirar y con los tiempos de recocido que sean distintos ya que se eligen arbitrariamente.

La fig. 17 nos muestra un circuito de suministro que es apropiado para un par de colectores de aire 136 tal como se emplean en la invención actual. Si se desea emplear más de un par de colectores como se describirá en la segunda ejecución de la invención actual se emplean conjuntos múltiples que tienen la forma que se muestra en la fig. 17. y que se pueden unir en paralelo a una fuente común de aire o bien alternativamente pueden emplear suministros de aire independientes.

Como puede verse en la fig. 17 el par de colectores 133 recibe el aire de la fuente común 150. Este aire primeramente pasa desde su origen por medio de la tubería principal de aire 151 que tiene un filtro 152, un regulador de presión 154, una válvula de compuerta 156 y un manómetro 158. Las dos tuberías alimentadoras principales 159 y 160 dividen el gasto de la tubería principal de aire 151 de modo que cada colector reciba la misma presión de aire. Como puede verse más claramente en la fig. 18 de los dibujos dichos colectores están divididos en tres secciones por los tapones 162 y 164. Las tuberías alimentadoras de sección 165, 167 y 169, alimentan a cada una de las secciones independientes de uno de los colectores de la tubería principal de alimentación 159, y a su vez

284834



las tuberías de alimentación de cada sección 166, 168 y  
170 suministran aire a las secciones del otro colector de  
la pareja desde la tubería principal de alimentación 160.  
Cada tubería alimentadora de sección contiene un grifo  
5 172, una válvula de aguja 174 para regular con precisión  
el gasto de aire, y un manómetro 176, que permite variar  
el gasto de aire y por lo tanto el enfriamiento según los  
distintos puntos de la anchura de la cinta. Los dos trozos  
10 finales de cada colector reciben aire a través de una  
abertura puesta en cada extremo del tubo. La sección cen-  
tral recibe aire a través de un grifo central 177 que va  
colocado en el centro del tubo. Una pieza estranguladora  
178 está colocada dentro del tubo y directamente enfrente  
de la abertura del grifo central, para evitar que el aire  
15 que entra por el tubo pase directamente a los agujeros de  
salida 146 que están directamente enfrente de la abertura  
de entrada. Como puede verse en las figs. 18 y 19, los  
agujeros de salida 146 están muy juntos y se extienden a  
lo largo del trozo de cada colector que está directamente  
20 enfrente de la cinta de cristal. Los colectores conviene  
que estén ajustados alrededor de sus ejes longitudinales  
de modo que dirijan la salida de aire de las bocas 146 con  
un ángulo de aproximadamente 20° hacia arriba respecto a  
la línea horizontal dirigida hacia la cinta de vidrio. Se  
25 prefiere que los colectores estén separados aproximadamen-  
te 3 pulgadas (75 mm.) de las superficies importantes del  
vidrio. A continuación citamos un ejemplo que no limita  
las aplicaciones de esta patente de una forma preferente  
de fabricar hojas de vidrio en la que se emplea la ejecu-  
30 ción del segundo aspecto de la invención actual y en el

284834



que un enfriador de agua y un par de colectores de aire enfrían la cinta durante el primer trozo del intervalo de recocido con el fin de conseguir una tensión resultante baja en el producto final.

5           Una cinta de vidrio de las mismas dimensiones y composición que la de el ejemplo anterior del primer aspecto de esta invención se trata de la misma forma que quede reducida hasta aproximadamente 635 grados centígrados según sale de la cámara de estirado.

10           Otro par de enfriadores colocados cada uno de ellos a cada lado de la cinta y situados precisamente encima de la cámara de estirado y dentro de la parte cerrada de la máquina de estirar, retiran calor de la cinta a una velocidad de aproximadamente 1.200 unidades térmicas  
15           inglesas por minuto (300 kilo calorías por minuto) por medio de una circulación continua de agua que pasa por los enfriadores colocados transversalmente a la dirección de avance de la cinta con el fin de disminuir la temperatura de la misma con una velocidad mayor y que es esencialmente  
20           constante respecto a la velocidad natural de enfriamiento desde las temperaturas medidas en la superficie de 635 hasta 570º C. en 33 segundos aproximadamente, desde el momento en que la cinta entra en el trozo cerrado de la máquina que está encima de la cámara de estirado. En este  
25           sitio unos chorros de aire chocan con la cinta de vidrio en cada uno de sus costados y en forma de banda de una o dos pulgadas (25 a 50 mm. ) de anchura a lo largo de la anchura de la cinta. Este aire sale de un par de colectores, situados cada uno de ellos a un costado de la cinta  
30           y aproximadamente a 3 pulgadas (75 mm) de la superficie

254834



de cada cara de la cinta y que se extienden a lo largo de la anchura de la misma transversalmente a la dirección del avance de la cinta. Cada colector está construido con un tubo de acero inoxidable de 90 pulgadas (225 cm.) que  
5 tenga un diámetro interior de 1-1/2" (38 mm.) y que está dividido en tres trozos de 30 " (75 cm.) a lo largo de su longitud. Se han dado en línea recta trescientos treinta y siete agujeros de salida que tienen aproximadamente un diámetro de 1/10 (2,5 mm) con sus centros separados por  
10 1/4 " (6 mm.) a lo largo del eje longitudinal del tubo con el que está construido el colector. Los agujeros de salida están colocados de modo que dirijan el chorro de aire hacia arriba en la dirección del avance de la cinta con una inclinación aproximada de 20° respecto a la horizontal.  
15 Se suministra aire a cada uno de estos colectores a la temperatura aproximada de 30 grados centígrados y con un gasto aproximado de 210 pies cúbicos (5,88 m<sup>3</sup>.) por minuto a una presión aproximada de 10 libras por pulgada cuadrada (0,7 atmósferas) de modo que al chocar el aire sobre las superficies de la cinta de vidrio se extraiga  
20 aire de la misma a la velocidad aproximada de 1.640 unidades térmicas inglesas (410 kilo calorías) por minuto de modo que se reduzca la temperatura de la cinta desde aproximadamente 570 grados centígrados hasta los 555 grados  
25 centígrados aproximadamente en tres segundos. Durante aproximadamente los siguientes 68 segundos se retrasa el enfriamiento de la cinta respecto a su velocidad natural de enfriamiento por medio de un aislamiento y aparatos calefactores que vienen colocados dentro de la parte cerrada de la máquina de estirar y en este tiempo se enfría  
30

284834



la cinta hasta la temperatura aproximada de 540 grados centígrados. Con este fin los aparatos de calefacción están divididos en tres zonas verticales tales como las que se describen en el ejemplo del primer aspecto de la invención. En los próximos 20 segundos aproximadamente, la velocidad de enfriamiento de la cinta aumenta por encima de su velocidad natural de enfriamiento al abrirse los costados de la máquina de modo que se disminuya la temperatura de la cinta unos 505° C. aproximadamente. El intervalo de recocido del vidrio en este ejemplo se considera que es aproximadamente de 600 hasta 520° C. considerados como temperaturas medias. Esto corresponde a un intervalo expresado en temperatura de la superficie del vidrio de aproximadamente 588 a 505° C. La cinta se enfría a través de este intervalo de temperaturas aproximadamente en 100 segundos. Después de que la temperatura de la cinta llegue al límite inferior del intervalo de recocido se deja entonces enfriar la cinta de un modo natural según va siendo empujada hacia el piso de corte que está colocado aproximadamente 15 pies (450 cm.) más alto que la parte cerrada de la máquina de estirar, en cuyo punto está a la temperatura aproximada de 90 grados centígrados y se corta entonces en hojas independientes. La birefringencia central del vidrio recocido de esta forma, tal como indica la diferencia de trayectorias de dos ondas de luz polarizada en dos planos que pasan a través del vidrio y que se miden en la forma que hemos explicado previamente es de aproximadamente 100 a 110 milimicras por pulgada (40 milimicras por cm. a 44 milimicras por cm.).

En general se cree que para conseguir mejor una

284834



disminución en las tensiones permanentes residuales cuando solamente se emplea un par de colectores de aire como ocurre en la primera ejecución de este aspecto de la invención se debe hacer choquen sobre las superficies del vidrio chorros de aire o de otro gas inerte cuando la temperatura de la cinta quede dentro del 10 al 55 por % del intervalo de recocido (medidos desde la parte alta del mismo y considerando que el valor mínimo de dicho intervalo es el 100 por 100 del mismo), Si se aplica esto a un vidrio hecho con sosa, cal y sílice del espesor y clase que se han citado en el ejemplo y para los tiempos de recocido que se estudian en el mismo esto corresponde a valores entre aproximadamente 580 y 545° C. La temperatura del vidrio se debe disminuir rápidamente a 5 hasta 25° C. La temperatura del aire o del fluido gaseoso distinto del mismo, teniendo en cuenta que es menor que la del vidrio, resulta ser una variable continua, siempre que también se varíe la cantidad de gas que se emplee, con el fin de conseguir la disipación de calor a un cierto nivel, que permita conseguir el enfriamiento rápido que se necesita. Desde un punto de vista práctico, se cree que la temperatura del aire o del fluido gaseoso que se suministra a los colectores, debe estar entre 5 y 65° C. La duración de la velocidad rápida de enfriamiento, debe ser del orden de la mitad del tiempo que es necesario para establecer una distribución de temperaturas estable a través del espesor del vidrio y en cualquier caso, este tiempo no debe ser mayor de aprox. 5 segundos, para evitar una atenuación notable de las tensiones. Esta velocidad de enfriamiento debe ser relativamente grande, ya que debe tener una pendiente que



no sea menor de unos 2 ° C. por segundo, ni mayor de unos 25° C. por segundo, pero lo más corriente es que sea entre 5 y 10° C. por segundo. Esta pendiente es la diferencia entre las temperaturas de equilibrio del vidrio al comenzar el enfriamiento rápido, y la temperatura de equilibrio, inmediatamente después de dicho enfriamiento rápido, dividida por el tiempo que ha transcurrido. En los casos en que la velocidad lenta de enfriamiento, que se emplea después de la velocidad rápida de enfriamiento, se deba cambiar por otra velocidad mayor de enfriamiento que se emplea al final, este cambio de velocidad debe realizarse a la misma temperatura o a otra menor, que la temperatura del vidrio, después del enfriamiento brusco con aire, y entre el 40 y el 90 % del intervalo de recocido. En el vidrio hecho con sosa, cal y sílice, esto corresponde a una temperatura comprendida entre los 560 y 515° C. La pendiente media de la velocidad reducida de enfriamiento no debe ser mayor de 0,65° C. por cada uno por ciento del tiempo total de recocido (o sea, si la disminución de temperatura, durante la velocidad reducida de enfriamiento  $R_3$  de la Fig. 6 es de 15° C. y el tiempo que tarda el vidrio en enfriarse en esta caída de temperatura es de 68 segundos, respecto a un tiempo total de recocido de 100 segundos - o sea el 68 % - la pendiente media será de 0,22° C. por cada uno por ciento del tiempo total de recocido).

La Fig. 20 representa una máquina de estirar después de haber sido modificada de acuerdo con la invención actual, con el fin de que pueda realizar una curva de recocido en tres escalones tal como la que viene representada en la Fig. 16.

284834



1051

Los aparatos básicos de estirado son esencialmente los mismos que los que se han representado en la Fig. 9, cuando se añadieron los colectores de aire 233. Vemos que, la cámara de estirado 280 está formada parcialmente por los bloques en forma de L, 290, los enfriadores con ventilador y agua 300 y las artesas de recogida enfriadas 340, y cierra una superficie colocada encima del baño fundido 270 con el fin de que la formación de la cinta se haga en un ambiente apropiado. Los enfriadores con agua 320, hacen más rápida la solidificación del vidrio, cuando la cinta es arrastrada desde el baño 270, por una serie de pares de rodillos de estirado 360 y transportada a la posición de corte (que no se dibuja) y que está colocada varios pisos por encima del baño. Lo mismo que en la ejecución de la Fig. 9. el vidrio entra en el horno de recocido 400 que rodea a el trozo de la cinta que está dentro de los límites de temperatura del intervalo de recocido, a una temperatura de aprox. 635° C.

La Fig. 21, nos indica esquemáticamente las temperaturas en la superficie de tres espesores distintos de cinta, que tienen unas temperaturas medias idénticas, en relación con su posición dentro de la máquina de estirar. La curva en línea de puntos, nos indica la distribución de temperaturas, de una cinta de vidrio que se ha estirado, en la forma ya conocida y en la que la cinta se enfría de una forma natural, según es arrastrada a través de la máquina.

Las curvas de enfriamiento que vienen indicadas con línea continua en la Fig. 21. se consiguen modificando la velocidad natural de enfriamiento, haciendo que cho-

284834



quien unos chorros de aire sobre las dos caras principales de la cinta, ya que están puestos en una serie de sitios separados por distancias concretas, a través de la anchura de la cinta. Como puede verse en la curva, la temperatura de la cinta, se acerca al límite superior del intervalo de recocido a lo largo de una curva de temperaturas, que se aproxima a la de enfriamiento natural. La velocidad de enfriamiento de la cinta, primeramente se cambia en la temperatura apropiada del punto singular  $T_{B1}$ , que viene fijada por la posición, del primer par de colectores 145, por medio del choque de chorros de aire o de otro fluido gaseoso que se emplea para enfriar, y que sale de las aberturas de los mismos, que dirigen el chorro según una banda estrecha que atraviesa la anchura de la cinta según ésta se va moviendo. La marcha normal de la cinta hace que la zona de la misma, que se está templando, se separe del chorro de fluido refrigerante, antes de que la tensión producida por el cambio en las velocidades de enfriamiento, sufra una atenuación notable. La duración en cuanto al tiempo, de este enfriamiento rápido, en relación con cualquier punto o línea trazada a través de la anchura de la cinta, varía con la velocidad de estirado, pero generalmente es del orden de uno a tres segundos. Como se necesita un tiempo mayor, para establecer una diferencia de temperaturas a través de una cinta más gruesa, el mayor tiempo de enfriamiento con aire, debido a una velocidad de avance menor, no tiene una influencia perjudicial, y en realidad es un factor que compensa, ya que permite una misma construcción para los colectores y por lo tanto emplear la misma anchura de la banda de aire para todos los espesores

284834



res corrientes de cinta de vidrio.

Los pares sucesivos de colectores 145, 147 y 149 están contruídos y reciben aire u otro flúido gaseoso de la misma forma que se explicó al hablar de los colectores 133, que se representaban en las Figs. 17-19. Están separados y soportados por el recinto del horno, por medio de las palomillas 144 u otros medios de montaje apropiados.

Entre el primer par de colectores 145 y el segundo par 147 se retrasa la velocidad de enfriamiento de la cinta de vidrio, por medio del material aislante 148 que va sujeto en el interior del recinto 400. Del mismo modo, el espacio que queda a lo largo de cada lado del recinto 400, y que queda entre el segundo par de colectores 147 y el tercer par 148, está aislado, tal como lo está, la parte restante del recinto que está situada después del tercer par de colectores. De esta forma, se puede establecer una curva de enfriamiento con varios escalones, tal como la de la Fig. 21. Evidentemente, los elementos calefactores, tales como los que se presentaron con la ejecución de la Fig. 9, se pueden emplear si se desea conseguir una flexibilidad suplementaria para la regulación.

En una forma semejante a la que se ha explicado al referirnos a la Fig. 10. cuando se emplean los colectores 233, la posición real de los pares de colectores 145, 147 y 149 permanece constante, lo mismo que la longitud del horno de recocido, sin tener en cuenta que las cintas de distintos espesores también tardan tiempos distintos en recorrer esta distancia. A medida que cada trozo de la cinta abandona dicho recinto, su velocidad de enfriamiento ya no tiene tanta importancia, desde el punto de vista

284834



de sus tensiones finales permanentes, y por lo tanto se deja enfriar la cinta naturalmente.

5 Lo que va a continuación es un ejemplo, que no limita los empleos de esta patente, de una ejecución preferente de la misma para fabricar vidrio en láminas, empleando la ejecución del segundo aspecto de la invención actual, en el que tres pares de colectores de aire, suministran una curva de recocido con tres escalones, con el fin de obtener una tensión resultante baja en el producto final.

10 Para esto se trata una cinta de vidrio de las mismas dimensiones y composición del ejemplo que acabamos de describir, del primer aspecto de la invención, del mismo modo que en dicho ejemplo de modo que su temperatura se reduzca hasta aproximadamente  $635^{\circ}$  C. cuando sale de la  
15 cámara de estirado. Dicha cinta continúa enfriándose aproximadamente a la velocidad natural, hasta una temperatura de aprox.  $590^{\circ}$  C. en su superficie, durante los primeros 28 segundos aprox. desde el momento en que dicha cinta entró en la parte cerrada de la máquina de estirar, situada  
20 encima de la cámara de estirado. En este punto están previstos una serie de chorros de aire que chocan contra la cinta de vidrio por cada uno de sus costados en la forma de una cinta de 1 a 2 pulgadas (25 a 50 mm.) de anchura, y a través de la anchura de la cinta. Este aire procede  
25 de un par de colectores, puestos cada uno, a uno de los lados de la cinta y a una distancia aproximada de 3 pulgadas (75 mm.) de cada costado de las superficies de la cinta, y que se extienden a través de la anchura de la misma, transversalmente a la dirección de la marcha de la cinta.  
30 Cada colector del primero y de los pares sucesivos de co-

234834



lectores, está construido con un tubo de acero inoxidable de 90 pulgadas de largo (225 cm.) que tiene un diámetro interior de 1-1/2 pulgadas (37 mm.) y que está dividido en tres trozos de 30 pulgadas (75 cm.) a lo largo del mismo. Se han dado en línea recta a lo largo del eje longitudinal del tubo que forma el colector, 337 agujeros de salida que tienen un diámetro aproximado de 1/10 de pulgada (2,5 mm.) cuyos centros están separados entre sí 1/4 de pulgada (6,4 mm.). Estos agujeros de salida están dispuestos de tal modo que dirijan sus chorros de aire, hacia arriba y en la dirección del avance de la cinta y con una inclinación de aproximadamente 20° con respecto a la horizontal. Se suministra aire al primer par de colectores a la temperatura aproximada de 30° C. con un gasto de unos 110 a 130 pies cúbicos por minuto (187 a 221 m<sup>3</sup> hora) a la presión aproximada de 10 libras por pulgada cuadrada (0,7 atmósferas). Al chocar este aire con las superficies de la cinta de vidrio, extrae calor de las mismas, a la velocidad de aproximadamente 1870. Unidades térmicas inglesas (467 kilo calorías) por minuto, de modo que se disminuya la temperatura de la cinta, desde aprox. 590° C. hasta 572° C. en aproximadamente 3 segundos. Durante los próximos 22 segundos aproximadamente, se retrasa el enfriamiento de la cinta, desde su velocidad natural, por medio de un aislamiento, dentro de la parte cerrada de la máquina de estirar y se llega a la temperatura de 564° C. Durante los 3 segundos siguientes aproximadamente, se vuelve a enfriar la cinta, con los chorros de aire, de un segundo par de colectores, de la misma construcción que los del primer par. Se suministra aire a esta pareja, a la tempe-

284834



196

4

5 ratura aproximada de 30° C. y con un gasto de unos 100 a 120 pies cúbicos por minuto (170 a 204 m<sup>3</sup>/hora) con la presión aproximada de 10 libras por pulgada cuadrada (0,7 atmósferas). Este aire, al chocar con las superficies del vidrio, extrae una cantidad de calor del mismo, a la velocidad de aprox. 1760 Unidades térmicas inglesas por minuto (440 kilo calorías por minuto), de modo que la temperatura de la cinta disminuya desde aprox. 564° C. hasta 548° C.

10 Durante los próximos 22 segundos aproximadamente, otra vez se retrasa el enfriamiento de la cinta, desde su velocidad natural de enfriamiento, por medio de un aislamiento puesto en el interior de la máquina de estirar, y esta vez la cinta se enfría hasta la temperatura de 540° C. Durante los 3 segundos siguientes aproximadamente, se enfría otra

15 vez la cinta, mediante chorros de aire de la misma manera que en las dos etapas anteriores, pero con un gasto de aire de 80 a 90 pies cúbicos por minuto (136 a 153 m<sup>3</sup> hora), extrayendo calor a la velocidad de aprox. 1.100 Unidades térmicas inglesas (275 kilo calorías) por minuto. De esta

20 forma se disminuye la temperatura hasta 530° C. y la velocidad de enfriamiento, posteriormente, se retrasa durante aproximadamente los 47 segundos siguientes, en cuyo momento, la temperatura de la cinta será de 505° C. con lo que pasará por el límite inferior del intervalo de recocido.

25 El intervalo de recocido, de un vidrio como el de este ejemplo, y expresado en temperaturas medias, se considera que es de 600 a 520° C. Esto corresponde a un intervalo, expresado en temperaturas en la superficie del vidrio, de unos 588 a 505° C. La cinta se enfría a través de este

30 intervalo de temperaturas en aproximadamente 100 segundos.

284834



Después de que la temperatura de la cinta, haya llegado al límite inferior del intervalo de recocido, se deja enfriar a la cinta, a su velocidad natural, mientras es transportada hasta el piso de corte, que está 15 pies (5 metros) más alto que la parte cerrada de la máquina de estirar, en cuyo punto está a la temperatura aproximada de 90° C. y entonces se le corta en hojas independientes. La birefringencia central de la hoja de vidrio de 7/32 pulgadas (5,5 mm) de espesor, que se ha recocido de esta forma, tal como viene indicado por la diferencia de trayectorias entre dos ondas de luz planas y polarizadas, que pasan a través del vidrio y que se mide del modo que hemos explicado anteriormente, se calcula que es de 90 a 100 milimicras por pulgada (35 a 39 milimicras por cm.).

Se cree que en general, se deben emplear por lo menos dos escalones de enfriamiento rápido, para disminuir la temperatura del vidrio, a través del intervalo de recocido, de acuerdo con el programa de recocido de la segunda ejecución de este aspecto de la invención, y que la temperatura del aire de enfriamiento o del otro fluido gaseoso inerte, debe estar comprendida entre los 5 y 65 grados centígrados. Esta velocidad de enfriamiento, en cada escalón de enfriamiento rápido, debe ser relativamente grande, y como ocurre en la ejecución primera, debe tener una pendiente que no sea menor de unos 2° C. por segundo, prefiriéndose que sea entre los 5 y 10° C. por segundo y que generalmente no sea mayor de 25° C. por segundo. Lo mismo que ocurre en la primera ejecución, la caída de temperaturas producida por este enfriamiento, debe estar comprendida entre los 5 y 25° C. aproximadamente. El tiempo que

284834

29



transcurre entre cada escalón de enfriamiento rápido, debe ser por lo menos aproximadamente cinco veces más largo, que el escalón de enfriamiento rápido, considerado independientemente, para permitir que se atenue en una forma adecuada, cualquier tensión que pueda aparecer, al eliminarse la velocidad rápida de enfriamiento, como resultado de una fluencia viscosa, durante este enfriamiento rápido. Las velocidades de enfriamiento, en los intervalos entre dichos escalones de enfriamiento rápido, deben ser relativamente bajas, de modo que se aproximen al estado isotérmico del vidrio, y en cualquier caso, la pendiente media de estas velocidades de enfriamiento, no debe ser mayor de una 0,6 % C. por cada uno por ciento, del tiempo total de recocido. La duración en cuanto al tiempo, de estas velocidades rápidas de enfriamiento, debe ser del orden de la mitad del tiempo que es necesario para establecer una distribución de temperaturas, que corresponda a un estado estable, a lo largo del espesor del vidrio, y en cualquier caso, no deben durar más de cinco segundos aproximadamente, para evitar que las tensiones se atenúen en una forma notable.

Este aspecto de la invención, también se puede aplicar a los procedimientos de recocida horizontal, tales como los que se han descrito en relación con las Figs. 11 y 12, del primer aspecto de la invención.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América, el 5 de Febrero de 1962, bajo el número 170.989 y 28 de Febrero de 1962, número 176.276, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

284834



N O T A

Los puntos de invención propia y nueva que se pre  
sentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente  
de Invención en España, por VEINTE años, son los siguien  
tes:

1.- Un método de recocer vidrio, que comprende en  
friar de manera controlable el vidrio a través de su gama  
de recocido, caracterizado por cambiar bruscamente la ve-  
locidad de enfriamiento del vidrio cuando está a una tem-  
peratura dentro de su gama de recocido con lo cual el es-  
fuerzo o tensión comunicado así al vidrio relaja al menos  
en parte a éste mientras el vidrio está todavía dentro de  
su gama de recocido.

2.- Un método según el punto 1, caracterizado por  
que el vidrio es enfriado continuamente desde el límite  
superior de su gama de recocido al límite inferior de su  
gama de recocido en una pluralidad de etapas finitas de  
velocidades sucesivamente diferentes y sustancialmente  
constantes.

3.- Un método según el punto 2, caracterizado por  
que los cambios entre etapas sucesivas de enfriamiento  
dentro de la gama de recocido se sincronizan desde el mo-  
mento en el cual la temperatura del vidrio llega al lími-  
te superior de la gama de recocido.

4.- Un método según los puntos 2 ó 3, caracteriza-  
do porque las diferentes etapas de enfriamiento están pre-  
determinadas de manera que la tensión central resultante  
del vidrio a temperatura ambiente isotérmica sea menor de  
la que se produciría empleando una sola velocidad de en-

284834

29



friamiento sustancialmente constante mantenida a través de la misma gama de recocido y del mismo tiempo.

5 5.- Un método según cualquiera de los puntos 2 a 4, caracterizado porque la velocidad neta media de enfriamiento sobre cualquier intervalo de 5% del tiempo total disponible para el recocido no es menor de 0,2°C por 1% del tiempo total disponible para el recocido.

10 6.- Un método según cualquiera de los puntos 2 a 5, caracterizado porque el vidrio es sometido a una primera etapa de enfriamiento a una velocidad sustancialmente constante cuando está por encima de su gama de recocido y dicha velocidad es modificada a una segunda etapa a una velocidad de enfriamiento diferente sustancialmente constante cuando el vidrio está por debajo del límite superior de su gama de recocido.

15 7.- Un método según el punto 6, caracterizado por que la segunda velocidad de enfriamiento es menor que la primera velocidad de enfriamiento.

20 8.- Un método según el punto 7, caracterizado por que el vidrio es enfriado a través de su gama de recocido en menos de 10 minutos y la primera etapa de enfriamiento enfría la cinta a una temperatura dentro del 20 al 70% de la gama de recocido medida desde la parte alta de la misma siendo la velocidad de dicha primera etapa por lo menos de 10% más rápida que la velocidad media de enfriamiento a través de toda la gama de recocido.

25 9.- Un método según los puntos 7 u 8, caracterizado porque la primera velocidad de enfriamiento es por lo menos de 0,9°C por 1% del tiempo total disponible para el recocido.

30

284834



10.- Un método según cualquiera de los puntos 7 a 9, caracterizado porque el vidrio es enfriado desde una temperatura superficial de 590° C. a una gama de 575 a 540° C. en la primera etapa.

5 11.- Un método según el punto 10, caracterizado porque la primera etapa lleva al vidrio desde el límite superior de la gama de recocido a una temperatura superficial inferior a 575° C. pero superior a 555° C. y la segunda etapa se hace a una velocidad media neta de no menos de 0,2° C. ni más de 0,6° C. por 1% de dicho tiempo total de recocido.

10 12.- Un método según cualquiera de los puntos 7 a 11, caracterizado porque la segunda velocidad no es menor de 0,2° C. ni mayor de 0,4° C. por 1% del tiempo total de recocido disponible.

15 13.- Un método según cualquiera de los puntos 7 a 12, caracterizado porque la relación de la primera a la segunda velocidad está por encima de 1 pero no por encima de 10.

20 14.- Un método según cualquiera de los puntos 7 a 13, caracterizado por una tercera etapa del enfriamiento que comienza dentro de la gama de recocido y que tiene una velocidad de enfriamiento sustancialmente constante mayor que la de la segunda etapa de enfriamiento.

25 15.- Un método según el punto 6, caracterizado porque la velocidad de enfriamiento de la segunda etapa es sustancialmente 0, yendo seguida dicha segunda etapa por una tercera etapa de enfriamiento a una velocidad de enfriamiento positiva.

30 16.- Un método según el punto 6, caracterizado



porque la segunda velocidad de enfriamiento es mayor que la primera velocidad de enfriamiento.

5 17.- Un método según los puntos 1 ó 2, caracterizado porque la velocidad de enfriamiento es aumentada bruscamente y luego disminuída bruscamente dentro de un tiempo suficientemente corto mientras el vidrio está dentro de su gama de recocido para impedir una relajación sustancial de los esfuerzos inducidos por la etapa de enfriamiento rápido.

10 18.- Un método según el punto 17, caracterizado porque dentro de la gama de recocido, la velocidad media de enfriamiento que precede a la etapa de enfriamiento rápido es mayor que la velocidad media de enfriamiento que sigue a la etapa de enfriamiento rápido.

15 19.- Un método según los puntos 17 ó 18, caracterizado porque la operación de enfriamiento rápido se efectúa mientras el vidrio está a una temperatura dentro del 10 al 55% de la gama de recocido medida desde la parte alta de dicha gama, rebajando la operación de enfriamiento rápido la temperatura del vidrio en aproximadamente 5 a 20 25°C, no excediendo la velocidad de enfriamiento subsiguiente de 0,65°C por 1% del tiempo total disponible para el recocido.

25 20.- Un método según cualquiera de los puntos 17 a 19, caracterizado porque la operación de enfriamiento rápido se efectúa mientras la temperatura superficial del vidrio está dentro de los límites de unos 580 a 545°C, retardándose entonces el enfriamiento del vidrio hasta que 30 la temperatura superficial de éste esté por debajo de la temperatura a la cual se rebajó el vidrio por la opera-

284834



ción de enfriamiento rápido y dentro de los límites de unos 560 a 515° siendo luego enfriado el vidrio a una velocidad incrementada hasta que la temperatura del vidrio llegue al límite inferior de la gama de recocido.

5           21.- Un método según cualquiera de los puntos 17 a 19, caracterizado porque después de la operación de enfriamiento rápido, el enfriamiento del vidrio se retarda durante un período de tiempo por lo menos 5 veces mayor que el tiempo durante el cual ocurrió el enfriamiento rápido, 10 mientras la temperatura del vidrio se mantiene por lo menos tan baja como la temperatura a la cual se rebajó por la operación de enfriamiento y dentro de 40 a 90% de la gama de recocido medida desde la parte alta de dicha gama y luego el vidrio es enfriado a velocidad mayor por lo me 15 nos hasta que la temperatura del vidrio llegue al límite inferior de la gama de recocido.

22.- Un método según el punto 17, caracterizado porque las velocidades en enfriamiento tanto antes como después de la operación de enfriamiento rápido son sustan 20 cialmente menores que la velocidad normal de enfriamiento del vidrio.

23.- Un método según el punto 22, caracterizado por una sucesión de dichas operaciones de enfriamiento rá 25 pido.

24.- Un método según el punto 23, caracterizado porque el enfriamiento se retarda entre las operaciones de enfriamiento rápido.

25.- Un método según los puntos 23 ó 24, caracte 30 rizado porque la rapidez del enfriamiento entre las operaciones de enfriamiento rápido no excede de 0,6° C por 1%

284834



del tiempo de recocido total disponible.

26.- Un método según cualquiera de los puntos 17 a 25, caracterizado porque la operación de enfriamiento rápido se efectúa aplicando un enfriamiento brusco instantáneo por gas al vidrio.

27.- Un método según el punto 26, caracterizado porque el enfriamiento brusco se aplica a lo largo de una línea transversal a la dirección del movimiento del vidrio al ser éste transportado a lo largo de una trayectoria predeterminada a lo largo de una zona de recocido.

28.- Un método según el punto 27, caracterizado porque el vidrio es hecho pasar junto a permutadores térmicos radiantes antes y después de la operación de enfriamiento brusco.

29.- Un método según los puntos 27 ó 28, caracterizado porque el gas es soplado contra ambas caras del vidrio transversalmente a la dirección de desplazamiento y su intensidad se varía a través de la anchura del vidrio para gobernar la rapidez de enfriamiento a través de dicho vidrio.

30.- Un método según cualquiera de los puntos 27 a 29, caracterizado porque el gas es hecho chocar contra las superficies principales del vidrio en movimiento a través de toda su anchura y en un momento dado en una distancia a lo largo de su longitud de aproximadamente 25 a 50 mm.

31.- Un método según cualquiera de los puntos 26 a 30, caracterizado porque el enfriamiento brusco por gas tiene una duración de no más de 5 segundos, de preferencia de 1 a 3 segundos.

284834



32.- Un método según cualquiera de los puntos anteriores, caracterizado porque el vidrio que se recuece es una cinta estirada directamente de un baño fundido.

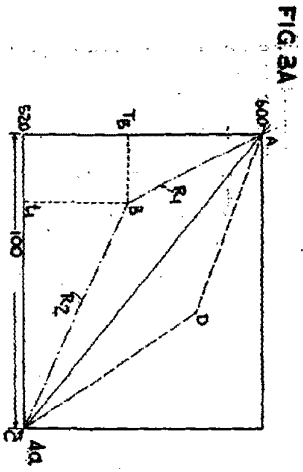
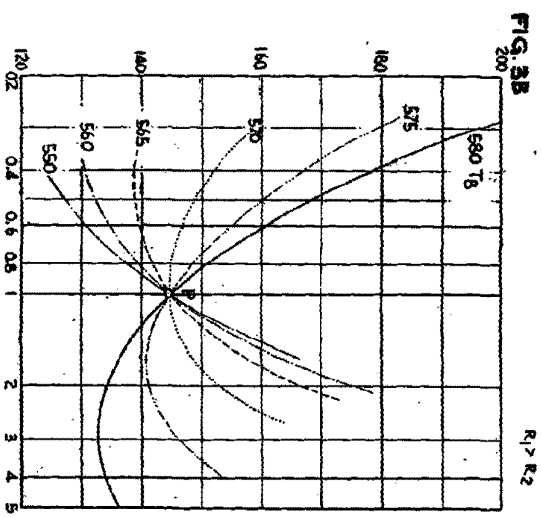
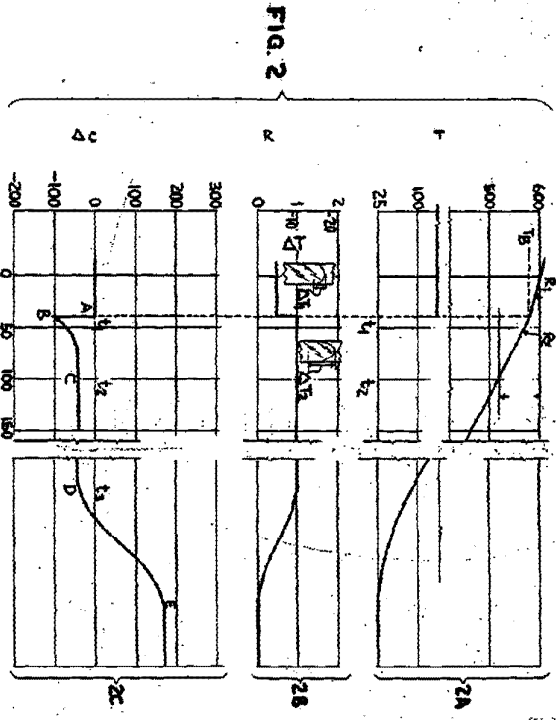
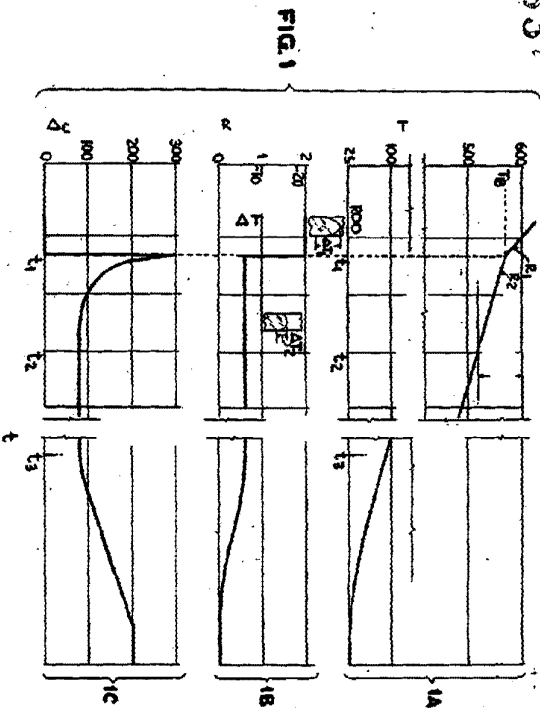
33.- Un método de recocer vidrio.

5 Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representada en los cinco dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de ochenta y ocho hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 29 MAY. 1963

~~Manuel de S. S. S.~~  
*Manuel de S. S. S.*



28483A  
 $R_1 < R_2$

*Handwritten signature*  
 Pittsburgh Plate Glass Company





284834

PITTSBURGH PLATE GLASS COMPANY II V SPARE

284834

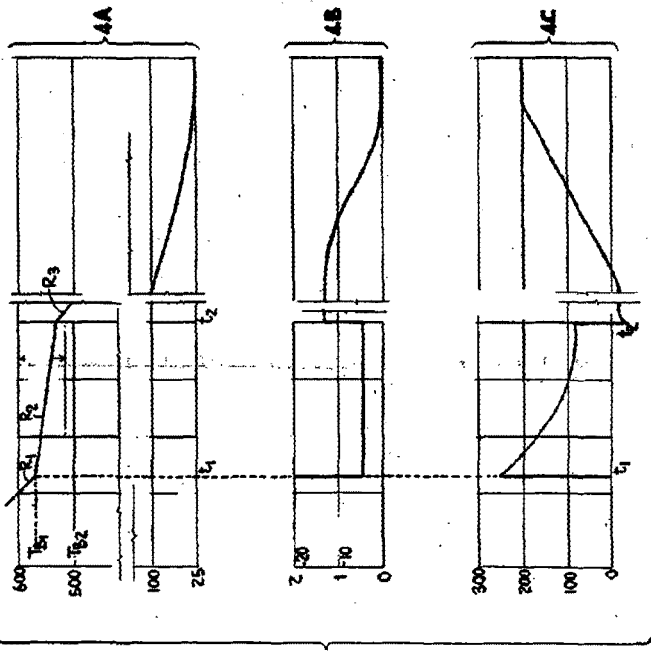


FIG. 4

FIG. 8

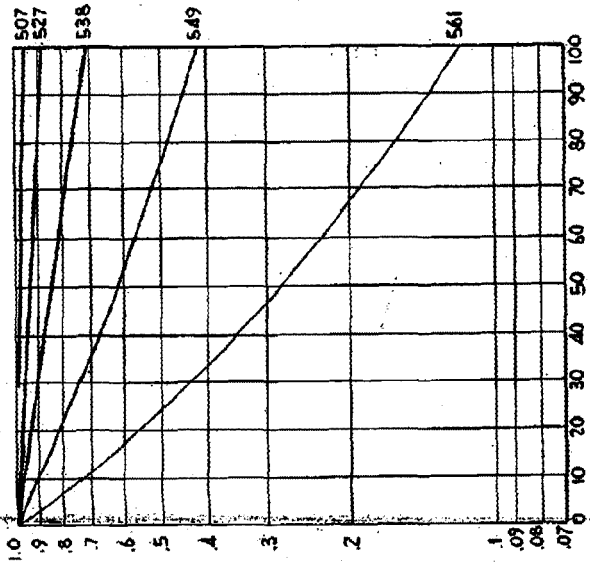


FIG. 5B

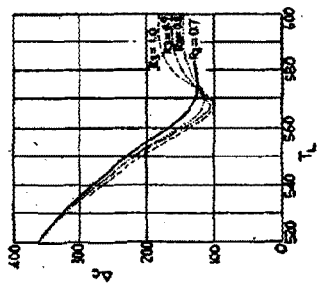


FIG. 5A

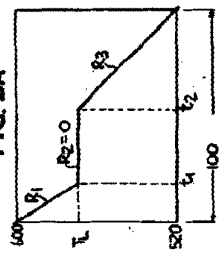


FIG. 6A

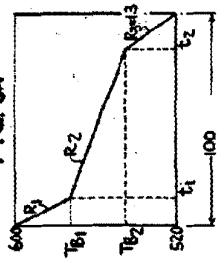


FIG. 6B

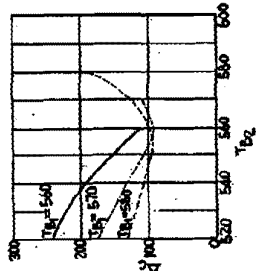


FIG. 7A

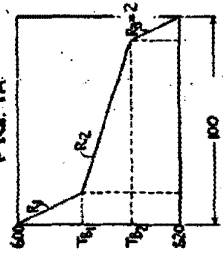
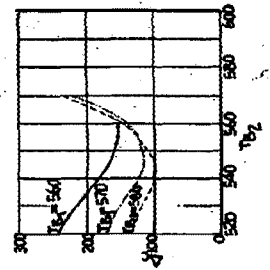


FIG. 7B



Handwritten signature and text in the bottom right corner.

28834

FIG. 9

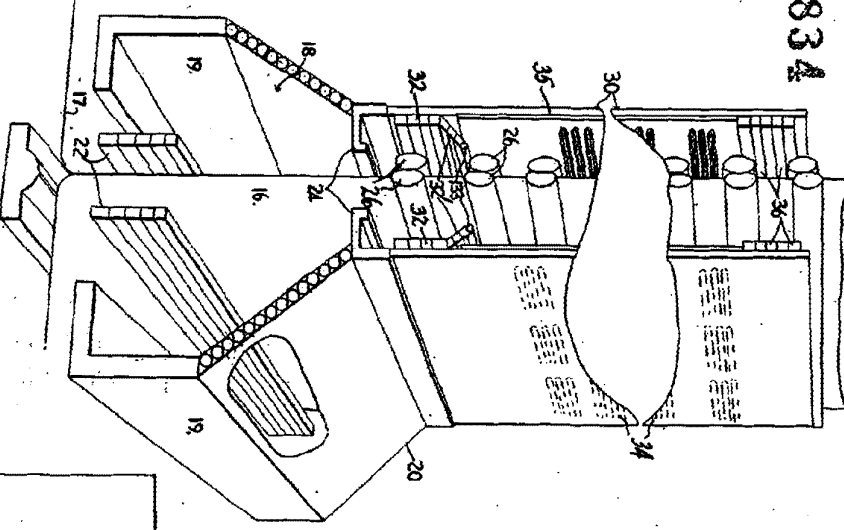
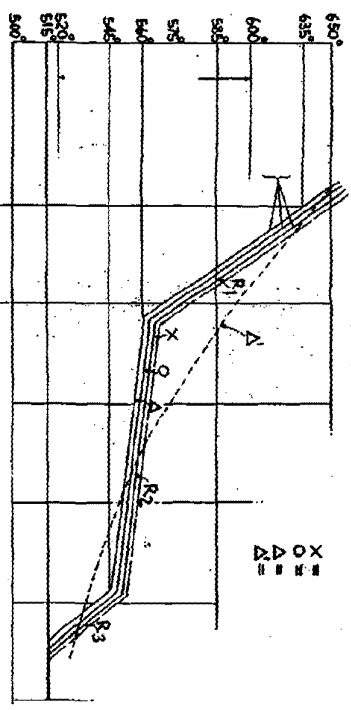


FIG. 10



28834

FIG. 11

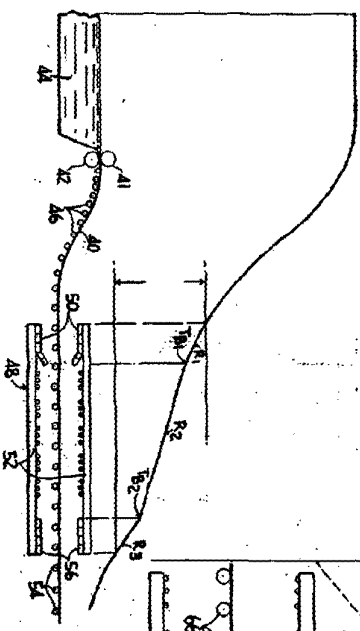
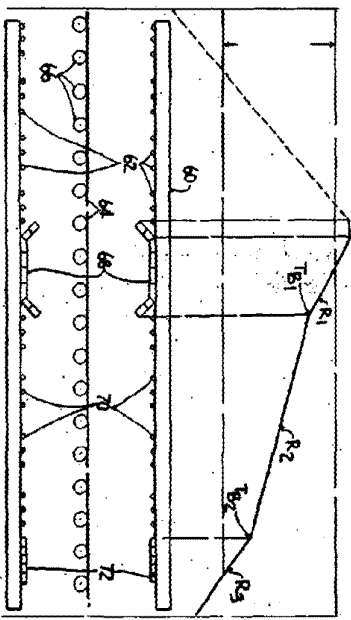


FIG. 12



*Handwritten signature or initials*



284834

WAGALA VARIABLE PITTSBURGH PLATE GLASS COMPANY IV/V SPAK

284834

FIG. 13

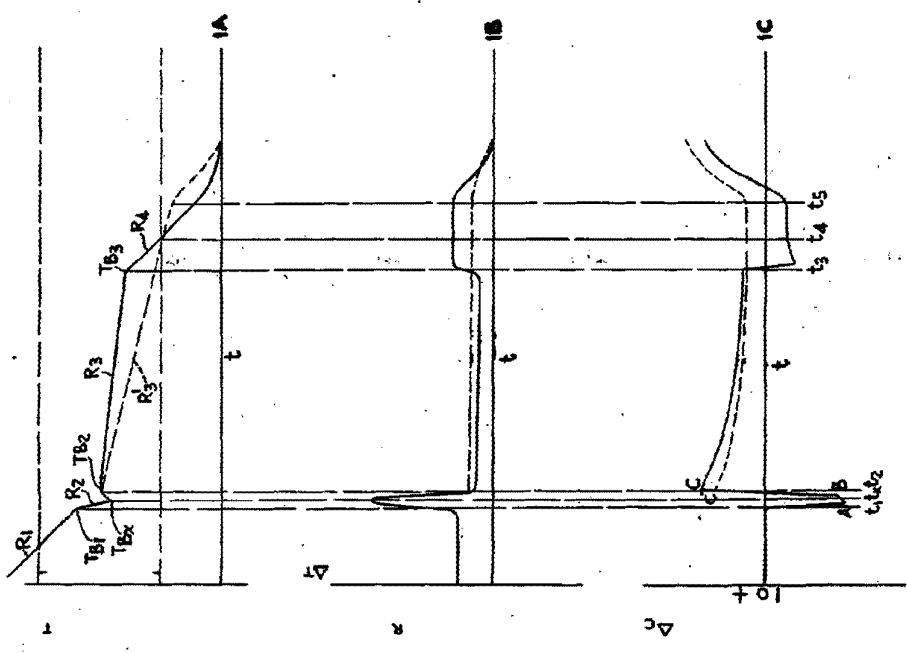


FIG. 14

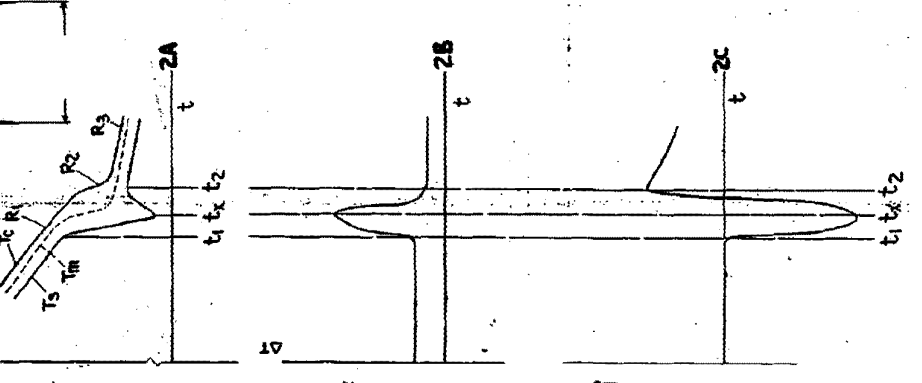


FIG. 15

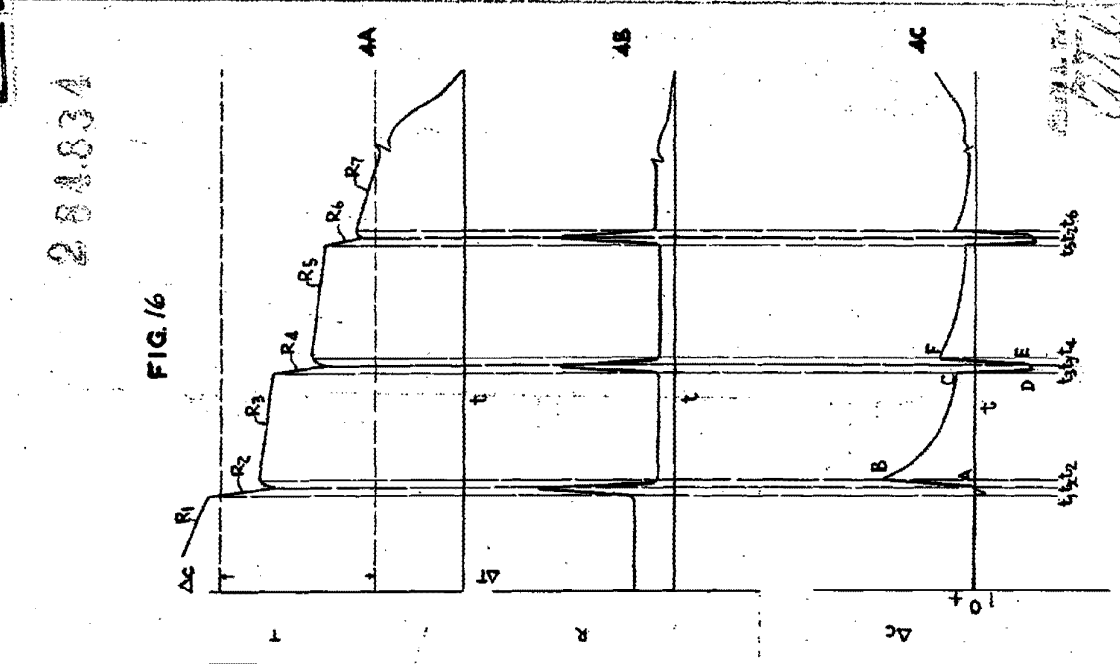
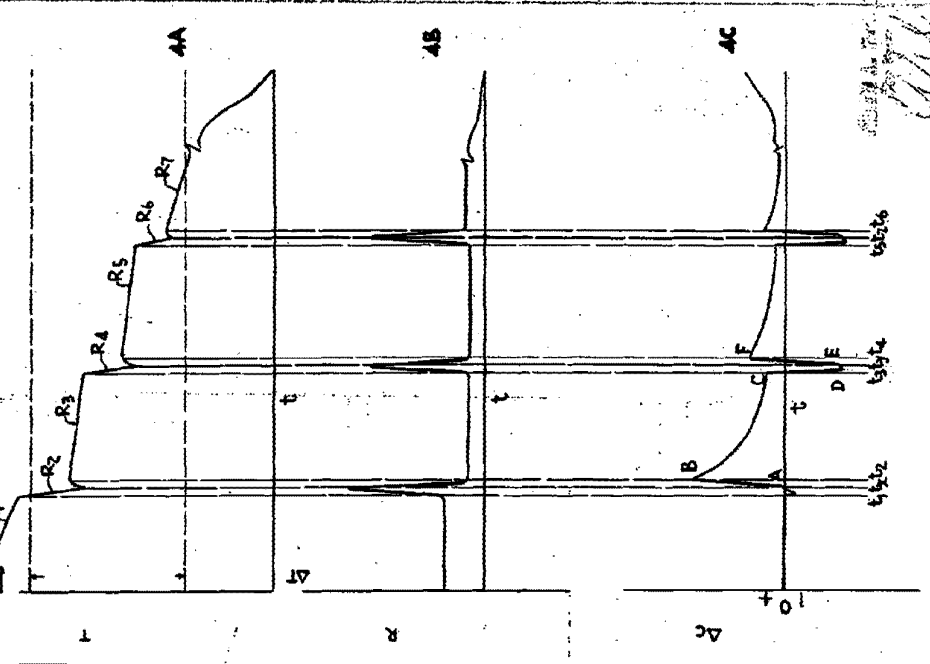


FIG. 16



Handwritten signature or initials in the bottom right corner.

284834

FIG. 17

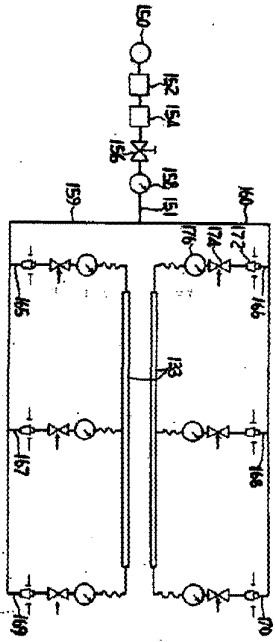


FIG. 18

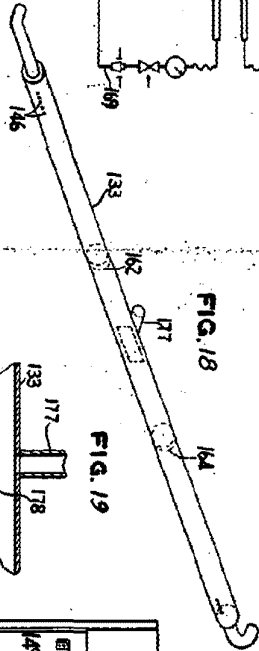
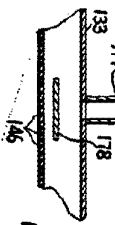


FIG. 19



X  
O  
A

FIG. 20

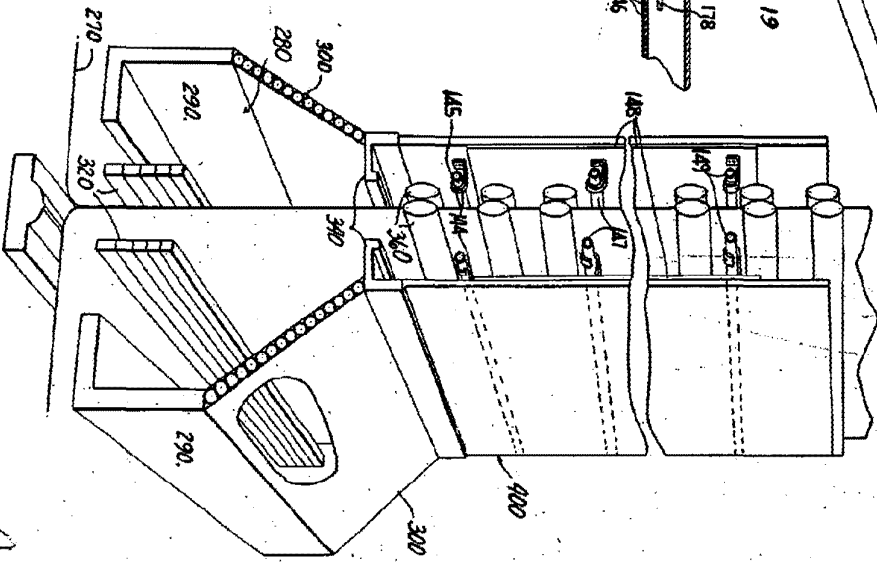
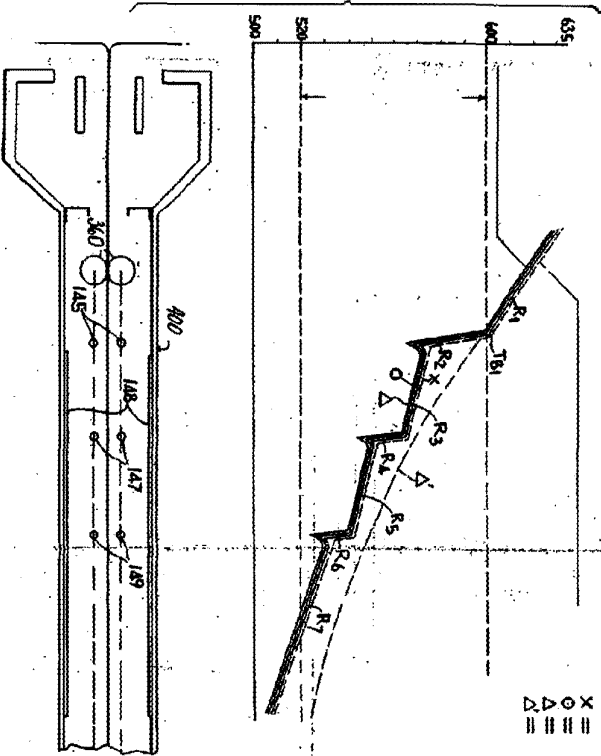


FIG. 21



284834



*Handwritten signature or mark.*