

## 2. Antecedentes.

El proyecto tiene lugar en una empresa dedicada al templado de vidrio, ubicada en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. El objetivo es automatizar un horno de templado recién adquirido que ayudará a aumentar la producción de vidrio templado, ya sea para uso arquitectónico o automotriz. A continuación se presenta una descripción sobre la importancia del templado de vidrio.

La principal limitación que posee el vidrio como material de construcción es su conocida fragilidad. El proceso de templado incrementa su resistencia y lo convierte en un vidrio de seguridad. Si bien el vidrio es un material muy resistente a la compresión pura, su escasa resistencia a la tracción es la causa principal de rotura de paños vítreos.



Figura 2.1 Vidrio templado de tipo arquitectónico

Para mejorar la estructura de un vidrio se recurre al proceso de templado, que consiste en calentarlo uniformemente, hasta una temperatura superior a los  $650^{\circ}\text{C}$  (punto de ablandamiento), para luego enfriarlo bruscamente, soplando aire frío a presión controlada sobre sus caras.

*La superficie del vidrio se enfría más rápidamente, mientras que la zona interior continúa dilatándose. El temple consigue comprimir de forma permanente las dos caras del vidrio, a la vez que tracciona el interior.*

*El vidrio templado está considerado como un vidrio de seguridad para la construcción, y su uso es recomendado en diversas áreas susceptibles de impacto humano. Esto se debe a que, en caso de rotura del paño, se rompe también el equilibrio de tensiones al que fue sometido durante el proceso de temple, produciendo una liberación de energía que propaga el quiebre rápidamente por todo el paño. Por lo tanto, el vidrio se desintegra en miles de fragmentos, pequeños y de aristas redondeadas, que no causan heridas cortantes o lacerantes de consideración.*

*Este patrón de rotura es el que define la calidad de un vidrio templado. Entre más pequeños sean los fragmentos, mejor es su calidad. Se considera que un vidrio templado es de buena calidad cuando el tamaño máximo de cada fragmento es inferior a una quinta parte del espesor del vidrio<sup>1</sup>.*

Muchas son las aplicaciones del vidrio templado con el objeto de proveer seguridad a los inmuebles. La gran resistencia del vidrio templado a los esfuerzos mecánicos y sus consiguientes posibilidades estructurales lo convirtieron en protagonista infaltable en frentes de locales comerciales.

La posibilidad de sujetar paños vidriados de grandes dimensiones con pequeños herrajes metálicos ha seducido durante décadas a los proyectistas de arquitectura comercial. Para ello se ha desarrollado el ya clásico, y aún vigente, sistema de herrajes de bronce, que permite realizar infinitas combinaciones de paños fijos y móviles, plegadizos, basculantes y giratorios, con movimientos manuales o automatizados, que lo han transformado en la forma más transparente (y económica) para construir el frente de un local comercial.

También su condición de vidrio de seguridad para áreas susceptibles de impacto humano ha permitido el desarrollo de puertas y mamparas de baño. Para estos usos es posible temprar vidrios translúcidos. Su gran resistencia a los cambios bruscos de temperatura permite su uso en lugares con exposición a altas temperaturas, como visores y tapas de hornos.

Para el vidrio serigrafiado, a una de sus caras se le aplica, mediante estampado serigráfico, un motivo a uno o varios colores. Este motivo puede ser un diseño repetitivo o una trama de puntos o líneas, que además de dar al vidrio una

---

<sup>1</sup> Fichas Técnicas 2.3 Tema: Vidrio Templado, Vidrio Termo endurecido Vidresif,  
[http://files.vidresif.com/documentacio\\_tecnica/fitxes\\_producte/vidre\\_trempat.pdf](http://files.vidresif.com/documentacio_tecnica/fitxes_producte/vidre_trempat.pdf) /  
24/febrero/2009

imagen estética única, permiten controlar la incidencia de la luz solar y la privacidad. También pueden estamparse motivos unitarios, letras, logotipos, etc.

En la industria automotriz se utilizan vidrios de seguridad para evitar lesiones en caso de roturas eventuales, entre los cuales se encuentra el vidrio templado. El vidrio templado usualmente se emplea en las ventanas traseras y laterales de los automóviles. Al romperse, el vidrio se partirá en pequeños fragmentos y no en forma de aristas, lo que hará menos dañinos los cortes a los pasajeros del vehículo quienes podrán salir fácilmente por la parte trasera y por los laterales. Por el contrario, si los laterales y las lunetas fueran hechos de vidrio laminado sería prácticamente imposible para estas personas salir de un automóvil accidentado sin sufrir lesiones graves.

A continuación se describen los diferentes elementos que forman parte de un horno de templado de vidrio, los equipos de automatización necesarios para lograr el correcto funcionamiento del mismo, el proceso que se debe controlar y de que manera se deben de comportar para conseguir un vidrio de seguridad de alta calidad.



Figura 2.2 Vidrio de seguridad para autobuses, la empresa produce medallones para Volvo.

## 2.1 Hornos de templado.

*Un horno para templado de vidrio se compone básicamente de dos partes:*

- 1. Una cámara de calentamiento, generalmente por resistencias eléctricas, donde el vidrio permanece hasta alcanzar su temperatura de ablandamiento.*
- 2. Una cámara de enfriamiento, conocida como Quench, consistente en sopladores conectados a ventiladores de alta potencia, con regulación de la presión de aire en función del tipo de vidrio y del espesor de la pieza a templar (a mayor espesor, menor presión).*

*De acuerdo al sistema de tracción y movimiento del vidrio, los hornos de templado se clasifican en:*

- Verticales: El vidrio se desplaza en posición vertical, suspendido mediante pinzas, a lo largo de un riel. Estas pinzas sujetan al vidrio por uno de sus bordes, y al alcanzar el punto de ablandamiento producen en su superficie una pequeña depresión irreversible, conocida como “marca de pinza” o “impronta”. Esta técnica ya ha superado los inconvenientes que tenía que el vidrio fuera colgado: no templaba correctamente hojas delgadas, no garantizaba un templado homogéneo y además dejaba visibles las antiestéticas marcas de las tenazas. La evolución tecnológica dio paso al horno horizontal.*
- Horizontales: Durante este proceso, el vidrio se desplaza horizontalmente sobre rodillos cerámicos o de silicio.*



Figura 2.3 Horno de templado horizontal.

*De acuerdo al sistema de funcionamiento, estos hornos pueden ser:*

- *Continuos: La cámara de calentamiento tiene una longitud tal que el vidrio, desplazándose a una velocidad constante, al llegar al final de la misma alcanza la temperatura de ablandamiento.*
- *Oscilantes: La cámara es mucha más corta, y el vidrio se mantiene dentro de ella realizando movimientos cortos hacia adelante y hacia atrás hasta alcanzar su temperatura de trabajo<sup>2</sup>.*



Figura 2.4 Quench. Sistema de enfriado a presión.

Para la aplicación en estudio, se requiere la automatización de un horno de templado horizontal que consta de cuatro mesas que transportan el vidrio a través de todo el proceso. En primer lugar se encuentra una mesa de entrada para que un operador introduzca el vidrio. La segunda es una mesa donde se realiza el calentamiento y que tiene un movimiento oscilatorio (hacia delante y hacia tras). En la tercera mesa se lleva a cabo el enfriamiento y tiene también un movimiento oscilatorio. La cuarta mesa es utilizada para sacar el vidrio del proceso. El control del calentamiento es por medio del encendido y apagado de resistencias y el enfriamiento es a través de la presión generada por un motor de 600 HP.

---

<sup>2</sup> Seguridad. Vidrio templado: Características, fabricación y aplicaciones.  
Powered by AHC Microsistemas [http://ahc.kreat.com/interes/vidrio\\_templado.htm#vid\\_templado](http://ahc.kreat.com/interes/vidrio_templado.htm#vid_templado)  
25/febrero/2009

### 2.1.1 Funcionamiento básico de los hornos de templado.

El horno de templado está equipado con rodillos de silicio dispuestos en paralelo, sobre los que pasa el vidrio a una velocidad de unos 20 mm/s, dependiendo de la longitud del horno y el espesor del vidrio. Si en el momento en que el vidrio pasa al estado viscoso la temperatura superficial no es uniforme (se determina la uniformidad en la superficie del vidrio por medio de un sensor infrarrojo de baja emisividad), es necesario aumentarla para conseguirlo, con lo que el vidrio se deformará más fácilmente y podrán aparecer curvaturas u ondulaciones producidas por los rodillos del horno, cuando se alcanza la temperatura de reblandecimiento. Durante el enfriamiento también pueden aparecer problemas si éste no se hace uniformemente, ya que una de las caras se contraerá más, alcanzando la rigidez antes que la otra, lo que también provocará una curvatura en la pieza.

*Los equipos modernos realizan el templado sobre un cojín gaseoso, que calienta los volúmenes por ambos lados mientras se deslizan entre los túneles del horno. Con este procedimiento se obtienen vidrios sin dilataciones remanentes de volumen y se consigue templar hojas de incluso 3 mm de grosor. Presenta, no obstante, la antiestética propiedad de la **irisación**<sup>3</sup>, además de posibles curvaturas u ondulaciones<sup>4</sup>.*

Para poder llevar a cabo su automatización, hay que conocer el funcionamiento básico del horno de templado que la empresa adquirió. Este conocimiento se adquiere observando y analizando los hornos con los que cuenta la empresa. De esta forma, se define el funcionamiento básico del horno a automatizar de la siguiente manera.

Programar el control de movimiento de las mesas encargadas de llevar el vidrio desde el inicio hasta el final del proceso. Como se mencionó en el apartado anterior, el movimiento del vidrio se realiza de forma oscilatoria tanto en la parte de la mesa de calentamiento, como en la de enfriamiento. Posteriormente, se define el método que se debe seguir para el enfriamiento del vidrio, el cuál se lleva a cabo por medio de variaciones de presión controladas a través de la frecuencia de un motor que se encuentra en un sistema de ventilación. Esta variación se realiza a través de rampas generadas por el cambio en la frecuencia

---

<sup>3</sup> Reflejo de luz con algunos o todos los colores del arco iris.

<sup>4</sup> Fichas Técnicas 2.3 Tema: Vidrio Templado, Vidrio Termo endurecido Vidresif,

[http://files.vidresif.com/documentacio\\_tecnica/fitxes\\_producte/vidre\\_trempat.pdf](http://files.vidresif.com/documentacio_tecnica/fitxes_producte/vidre_trempat.pdf) / 25/febrero/2009

de un variador de velocidad conectado al motor. Finalmente, se determina el funcionamiento de la cápsula de calentamiento, desde el tiempo de barrido de las resistencias hasta la función que controla el encendido de cada grupo de resistores de acuerdo a la potencia requerida a través del uso de un PID dentro del software de programación del PLC utilizado.

## **2.2 Descripción general del proceso a automatizar.**

Antes de comenzar a efectuar la programación lógica de los diferentes componentes que llevan a cabo el control pertinente de cada parte mecánica del horno de templado, se debe tener conocimiento sobre el proceso del templado de vidrio. Con el conocimiento sobre el funcionamiento básico de un horno, se identifican de mejor forma las partes del proceso más importantes, las cuáles son: el traslado del vidrio a lo largo de todo su recorrido, el calentamiento y el enfriamiento a presión del vidrio.

El traslado del vidrio requiere la intervención del control de diferentes variadores de velocidad asociados a los motores que se encuentran en cada una de las bandas transportadoras, este movimiento puede darse en diferentes sentidos y además las bandas transportadoras interactúan unas con otras. Esta parte del proceso identifica cuatro etapas de traslado diferentes: una banda transportadora encargada de la introducción del vidrio al sistema, una banda transportadora que mantiene el vidrio dentro de la cápsula de calentamiento, una banda transportadora donde se realiza el enfriamiento a presión del vidrio y, finalmente, una banda transportadora donde sale el producto del proceso.

Cada uno de estos movimientos se realiza de diferente forma, y los movimientos de las bandas dependen del control que se lleva a cabo en la banda transportadora localizada en la cápsula de calentamiento. En esta banda principal se realiza un movimiento oscilatorio del vidrio para que se efectúe el calentamiento uniforme requerido por el proceso y después de un cierto tiempo hace la petición de un nuevo vidrio a la banda transportadora de entrada, una vez que se hace el calentamiento adecuado del vidrio, lo transporta hacia el sistema de enfriamiento, donde la banda transportadora colocada en el Quench también realiza un movimiento oscilatorio. Finalmente, terminado el enfriamiento, el vidrio se traslada a la banda transportadora donde se obtiene el producto final como es requerido: un vidrio templado.

Dentro de la cápsula de calentamiento, se eleva la temperatura en toda la superficie del vidrio, para ello se debe mantener la temperatura en toda la cápsula. Al ser muy grande la cápsula de calentamiento, ésta se divide en

diferentes zonas, y se requiere conocer en todo momento la temperatura actual de cada zona. Cuando el vidrio entra al sistema de enfriamiento, el Quench realiza cambios bruscos de presión para que se realice el templado requerido. Dependiendo del tipo de vidrio en el proceso se definen los cambios en la presión.

En la figura 2.5 se observan todas las etapas involucradas en el proceso.

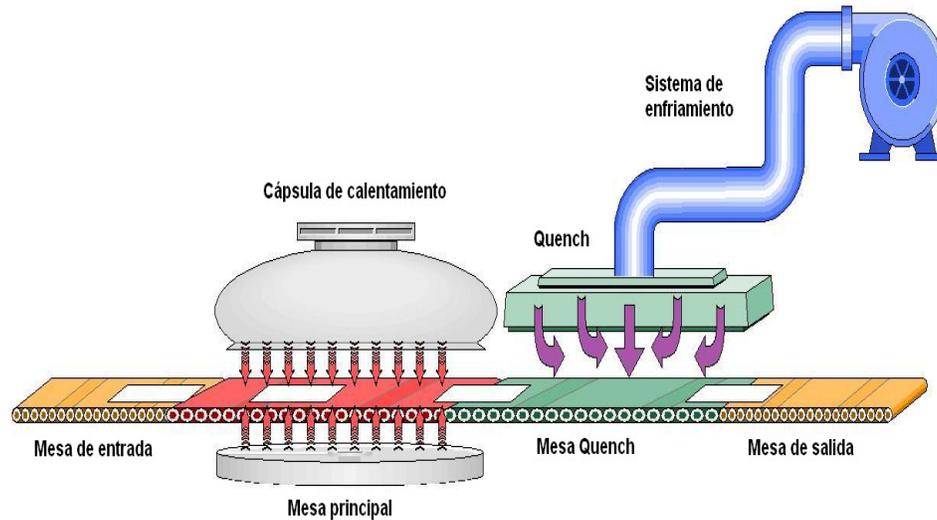


Figura 2.5 Etapas del proceso de templado.

Por consiguiente el proceso se resume de la siguiente manera: se ajustan los parámetros correspondientes en el sistema SCADA de acuerdo al tipo de vidrio que debe producir y luego coloca el vidrio en la mesa de entrada.

Una vez que el vidrio está en la entrada del proceso, la mesa principal realiza la petición del vidrio a la mesa de entrada, posteriormente comienza una oscilación durante un cierto tiempo mientras se realiza el calentamiento del vidrio de manera uniforme, transcurrido el tiempo la mesa principal traslada el vidrio a la mesa Quench y realiza una nueva petición a la mesa de entrada. En la banda transportadora del Quench también se realiza un movimiento oscilatorio, en esta parte del proceso el variador de velocidad realiza cambios en su frecuencia de giro con lo que se obtienen cambios bruscos en la presión ejercida sobre el vidrio.

Finalmente, después del enfriamiento, la mesa Quench traslada el vidrio a la mesa de salida, donde es recibido para almacenarlo. Todo este procedimiento se repite continuamente hasta que se tengan que ajustar los parámetros requeridos para el templado de un tipo diferente de vidrio.