



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Automatización de un horno de
templado de vidrio**

**TESIS PROFESIONAL
para obtener el título de
INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

**PRESENTA:
Francisco Esteban Avilés Corro**



**DIRECTOR DE TESIS
M. en F. Gabriel Hurtado Chong**

Ciudad Universitaria, D.F. Septiembre 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis M.F. Gabriel Hurtado Chong y asesores Ing. Gloria Mata Hernández, Ing. Serafín Castañeda Cedeño, M.C. Alejandro Velázquez Mena, Dr. Marcos Ángel González, quienes pusieron su conocimientos, tiempo y paciencia para que pudiera llevar a cabo el presente documento.

DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mi y porque pusieron todo su esfuerzo para que me convirtiera en la persona que soy, dándome ejemplos dignos de superación y entrega. Porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta. El orgullo que sienten por mi, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, por su amor y apoyo.

A mis hermanas, mis cuñados y tíos, que siempre me han apoyado durante toda mi formación académica con su conocimiento y brindándome las herramientas necesarias para llegar al final.

A mi pequeña que me ha dado todo su cariño, apoyo y ánimo en todo momento.

Y a todos aquellos maestros y compañeros que se han cruzado en mi camino y me han enseñado alguna cosa.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos. A todos, espero contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.	7
2.1 HORNOS DE TEMPLADO.	10
2.1.1 <i>FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LOS HORNOS DE TEMPLADO.....</i>	<i>12</i>
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO A AUTOMATIZAR.	13
3. ARQUITECTURA.....	16
3.1 EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN SIEMENS.....	16
3.2 VARIADORES DE VELOCIDAD.....	24
3.3 ARQUITECTURA PARA EL HORNO DE TEMPLADO.	25
3.4 ANÁLISIS DEL SCADA PROPUESTO.	29
3.5 ANÁLISIS DEL PROYECTO.....	30
3.5.1 <i>DIVISIÓN DEL PROYECTO.....</i>	<i>30</i>
3.5.2 <i>ANÁLISIS DE TIEMPOS.....</i>	<i>31</i>
4. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.	33
4.1 COMUNICACIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA CON UN VARIADOR DE VELOCIDAD MICROMASTER.	34
4.2 MESA PRINCIPAL.	37
4.2.1 <i>OSCILACIÓN DEL VIDRIO.....</i>	<i>38</i>
4.2.2 <i>ASPERSORES.....</i>	<i>45</i>
4.2.3 <i>CONTROL DE LAS DEMÁS MESAS.....</i>	<i>47</i>
4.3 MESA QUENCH.....	48
4.3.1 <i>OSCILACIÓN DEL VIDRIO.....</i>	<i>49</i>
4.4 MESA DE ENTRADA.	53
4.5 MESA DE SALIDA.....	55
5. AUTOMATIZACIÓN DEL QUENCH.....	57
5.1 COMUNICACIÓN CON UN VARIADOR DE VELOCIDAD SCHNEIDER. ...	58
5.2 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIADO.	60
5.3. RAMPAS PARA MANEJAR LA PRESIÓN.	63
5.4 POSICIÓN DE LAS PARTES MECÁNICAS DEL QUENCH.	72

6. AUTOMATIZACIÓN DE LA CÁPSULA DE CALENTAMIENTO.....	76
6.1 POTENCIA GENERAL Y POR ZONAS.....	77
6.2 LAZOS DE CONTROL PARA CADA ZONA.	81
6.3 CALENTAMIENTO INICIAL DE LA CÁPSULA.....	89
7. AHORRO DE ENERGÍA.	91
7.1 HORARIO DE TRABAJO DE ACUERDO A CFE Y A HORARIO DE INVIERNO / VERANO.	91
7.2 FUNCIÓN DE ENFRIADO INTELIGENTE.	94
7.3 ENCENDIDO DE LAS RESISTENCIAS.	98
8. PUESTA EN MARCHA.	101
8.1 VALORES DE PROCESO.....	102
CONCLUSIONES.....	106
REFERENCIAS.....	111
ÍNDICE DE TABLAS.....	112
ÍNDICE DE FIGURAS.....	113

1. Introducción.

A lo largo de este trabajo se detallan las tareas requeridas para realizar la automatización de un horno de templado como parte del desarrollo integral de un proceso de gran importancia para la productividad de una empresa. Para conseguir el éxito planeado, se trabajó en conjunto con especialistas en el templado de vidrio. Este trabajo se enfoca en la automatización de equipos de control industrial, y no en el diseño del horno de templado, por lo que el diseño y el proceso de templado de vidrio se presentan de forma general y se centra la mayor parte del contenido en la automatización de los diferentes elementos de control.

El objetivo general de este proyecto es incrementar la producción de vidrio templado, agregando una nueva línea de producción a las ya existentes en la empresa. El proyecto de forma global abarca la transportación y montaje de los elementos mecánicos del horno de templado y la selección, programación e integración de los elementos de control, automatización y sistema de visualización.

En primera instancia la compañía adquiere las partes mecánicas en el extranjero y son transportadas por barco al país, posteriormente técnicos de la empresa realizan el montaje del horno de templado. En este momento surge la inquietud de contratar a ingenieros de Estados Unidos para llevar a cabo la automatización del horno de templado, finalmente se toma la decisión de que ellos mismo lo desarrollaran.

Con esta decisión el líder del proyecto se da a la tarea de diseñar las funciones necesarias para realizar el control de los diferentes elementos mecánicos del horno de templado y de seleccionar los equipos industriales necesarios para lograr el objetivo. Se toma el diseño de los demás hornos de templado con los que cuenta la empresa como base de este nuevo diseño con la idea de mejorar el rendimiento del mismo. Posteriormente se dan a la tarea de seleccionar los dispositivos de control que permitirán realizar todas las funciones identificadas en el diseño.

Finalmente se procede a la programación de las tareas de control y automatización, así como la interacción de los diferentes elementos mecánicos a través de sistemas de control que permitan lograr el objetivo principal de producir vidrios templados de mejor calidad y a menor costo.

Este trabajo describe únicamente una parte del objetivo general, la programación e integración de los elementos de control y automatización. Al no ser parte del proyecto desde un comienzo, las tareas encomendadas y descritas en el presente documento deben adaptarse al diseño original del líder del proyecto. A pesar de ello también se describe el proceso de templado de vidrio, los equipos de control seleccionados y la integración de un sistema de visualización ya que son partes fundamentales del objetivo general.

En el capítulo de “Antecedentes” se definen los requerimientos de la empresa y se proporciona una descripción del funcionamiento del horno de templado, detallando cada uno de los componentes involucrados en el templado de un vidrio, con el fin de conocer las distintas etapas que deben ser automatizadas en este proceso. El funcionamiento de un horno de templado presenta dos etapas fundamentales: el calentamiento y el enfriamiento del vidrio. Además, se requiere que se realice el templado de diferentes tipos de vidrio, tanto en forma como en grosor; esto permite identificar a los elementos mecánicos más importantes que se ven involucrados para lograr el mejor templado posible.

Una vez que se conoce el proceso que se va a automatizar, se definen los equipos industriales necesarios para lograr el control de cada uno de los elementos requeridos dentro del proceso, detallando las características técnicas para integrar todas las tareas de automatización en un solo proyecto. Los equipos de control elegidos presentan flexibilidad en cuanto a las posibilidades de programación, así como para integrar equipos utilizando diferentes redes industriales e inclusive aunque sean de distintos fabricantes.

Teniendo conocimiento de todos los elementos, mecánicos y eléctricos, del horno de templado y las ventajas de cada equipo industrial, en el capítulo “Arquitectura” se explican sus características y el funcionamiento de cada uno de ellos. Las etapas que comprende el proceso son: entrada del material, calentamiento, enfriamiento y salida del material, cada una de estas etapas puede presentarse de diferentes maneras. El conocimiento del proceso facilita enormemente la automatización de cada etapa

El proceso, además de la automatización, requiere de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) con el cual un operador introduce la información pertinente para el buen funcionamiento del horno y al mismo tiempo se obtiene información para lograr una mejora continua en el rendimiento del proceso. Con el sistema SCADA, el operador almacena información relevante sobre las mejores posiciones de los elementos mecánicos o el mejor tiempo de calentamiento para el templado. Además, brinda la posibilidad de conocer el número de piezas producidas en todo momento. La finalidad del proyecto es tener la automatización totalmente integrada, desde los

elementos de campo, pasando por el nivel de control hasta el nivel de administración, como lo es el sistema SCADA.

Al analizar el proceso, la arquitectura y el sistema SCADA, se divide el proyecto en diferentes etapas que se van integrando a lo largo de su desarrollo. Dicha estructura se modifica durante el transcurso del proyecto, ya que con el conocimiento previo y el adquirido se hacen adaptaciones para obtener un mejor rendimiento. Cada etapa que se desarrolla depende de la correcta realización de la anterior, algunas señales generadas en una etapa previa son elementos que permiten comenzar las siguientes etapas, por lo que diferentes elementos se van entrelazando a lo largo del desarrollo de la automatización del proceso.

El calentamiento y el enfriamiento son los procesos que permiten realizar el templado de un vidrio, esto requiere que el vidrio sea transportado de una etapa a otra de manera inmediata; para ello se transporta el vidrio por diferentes mesas de trabajo donde se llevan a cabo dichos procesos.

En el capítulo “Automatización del sistema de transporte” se explica cómo se traslada el vidrio a lo largo de todas las etapas del proceso. También se explica la comunicación del equipo de control con los diferentes variadores de velocidad, que definen la velocidad y el sentido de giro de cada banda transportadora. Para que el proceso sea eficiente requiere que puedan estar como máximo 5 vidrios en la cápsula de calentamiento, lo cual hace que la banda transportadora encargada del calentamiento sea la más importante para el sistema de transporte del vidrio.

El proceso define cuatro sistemas de transporte que interactúan entre sí: la mesa de Entrada donde el operador coloca el vidrio que entrará al proceso, la mesa Principal donde se realiza el calentamiento uniforme del vidrio, la mesa Quench donde se lleva a cabo el enfriamiento, por medio de cambios en la presión de un sistema de ventilación y finalmente la mesa de Salida en donde el vidrio llega templado para su almacenamiento.

En primer lugar, la mesa Principal solicita y recibe de la mesa de Entrada el vidrio que va a templarse, posteriormente realiza movimientos cortos hacia adelante y hacia atrás (oscilaciones) para el calentamiento, después traslada el vidrio a la mesa Quench para el enfriamiento, y vuelve a pedir otro vidrio a la mesa Principal. Una vez que el vidrio se ha enfriado a presión, pasa a la mesa de Salida. Con esta información se determina el orden en el cual se debe realizar la automatización de cada sistema de transporte.

Durante el enfriamiento del vidrio, éste obtiene la rigidez necesaria y la forma requerida, esto se debe a la presión a la que es sometido y a la posición de las partes mecánicas del Quench. El cambio de presiones que se genera depende del grosor del vidrio y se debe de realizar de manera inmediata. En el capítulo “Automatización del Quench” se determinan los cambios en la presión necesarios, dichos cambios están relacionados con el giro de un motor de 600 HP, para controlar la frecuencia a la que gira el motor se utiliza un variador de velocidad. El tipo de vidrio determina la forma en la que se debe generar el cambio en la presión, dando únicamente dos opciones: de una presión máxima a una presión mínima si se trata del templado de un vidrio grueso o de una presión mínima a una presión máxima si es un vidrio delgado. Cada uno de los movimientos se realiza durante cierto tiempo, que no debe exceder el tiempo en el que otro vidrio pasará de la Mesa Principal al enfriamiento. El sistema de ventilación se diseñó conforme a las presiones que necesita el proceso, de tal manera que sólo se debe definir la velocidad a la que debe girar el motor, por lo tanto el variador de velocidad se ajusta entre 0 y 60 Hz, para generar dichas presiones.

Para evitar que se generen picos de corriente, que generan un excedente en el consumo de energía eléctrica, por la necesidad de pasar de una presión baja (0 Hz) a la máxima (60 Hz), se realizan movimientos constantes en la frecuencia del variador aún y cuando el vidrio no haya ingresado todavía a la Mesa Quench. Cada inicio o fin de turno se debe de encender o apagar el motor, aunque no existe la necesidad de hacerlo de forma inmediata, por lo cual el sistema de automatización le regresa el control al variador de velocidad para que realice la acción correspondiente con las rampas programadas en él. Esta parte del proceso es muy importante porque debe garantizar que el variador de velocidad no exceda los límites de frecuencia soportados, ya que sólo puede girar a una frecuencia máxima de 60 Hz para el correcto funcionamiento del motor. La forma que tendrá el vidrio, curvo o plano, depende de la posición de las partes mecánicas del Quench.

En la mesa Principal se lleva a cabo una de las partes fundamentales del proceso de templado: el calentamiento del vidrio. Para realizar un calentamiento uniforme se debe mantener la misma temperatura en todas las partes de la cápsula de calentamiento. En el capítulo “Automatización de la cápsula de calentamiento” se explica el control del calentamiento en cada zona de esta cápsula, el diseño de la misma que consta de un recubrimiento de porcelana ayuda a lograr un incremento más rápido de temperatura y a la conservación del calor, pero en sus extremos es más factible que se tengan pérdidas de energía, lo que origina la necesidad de dividir la cápsula en diferentes zonas, independientes y con una medición de temperatura para cada una.

El calentamiento de la cápsula se realiza por medio de diferentes resistencias colocadas en cada una de sus zonas, que se encienden dependiendo de la necesidad de incrementar la temperatura o bien de conservar el calor. Todos estos cambios de temperatura van ligados a diferentes controles PID que realizan la regulación correspondiente para indicar cuáles y cuántas de las resistencias deben permanecer encendidas y durante cuánto tiempo. Esta parte del proceso involucra una gran cantidad de señales a controlar, tanto analógicas como digitales.

Las tareas diseñadas para este sistema deben de presentar mejoras significativas respecto a los diseños de los hornos actuales en la empresa. El capítulo “Ahorro de energía” define mejoras que se realizan al proceso, con el fin de hacerlo más eficiente. La Comisión Federal de Electricidad determina para cada zona del país, el costo de la energía dependiendo de la hora en la que se utiliza y también en función del horario invierno/verano, por lo que la empresa requiere que el horno de templado se adapte a estos cambios de horario de manera automática con el fin de ahorrar energía. De igual modo, se desarrolla una función para evitar que las resistencias de calentamiento permanezcan encendidas al mismo tiempo, dando como resultado el encendido gradual de cada una de las resistencias y sólo durante un lapso determinado, sin afectar la temperatura general que se debe mantener en toda la cápsula de calentamiento.

El sistema de enfriamiento hace un cambio en la presión cada vez que un vidrio pasa de la cápsula de calentamiento al Quench. En ocasiones puede darse el caso de que el operador no introduzca el vidrio al proceso y, por lo tanto, no se va a trasladar al Quench, esto requiere que se defina una función para conocer la cantidad de vidrios que se trasladarán al proceso de enfriamiento con el fin de evitar los cambios de presión innecesarios.

La información proporcionada por el operador y la información generada en el proceso por medio de las señales y variaciones que se van produciendo se almacenan continuamente, con el fin de mejorar el proceso día a día. Estos datos se transmiten al sistema SCADA de forma directa a través de una conexión Ethernet (TCP/IP) entre el sistema de control y la computadora dedicada al SCADA, el capítulo “Valores de proceso” muestra la relación entre estos elementos. Con ello se pueden manipular los datos para conocer la eficiencia y el rendimiento del proceso por medio de la interacción con datos que son almacenados históricamente

Finalmente, se integran todas las partes automatizadas para realizar la puesta en marcha. Cada uno de los detalles que implican el arranque del horno de templado se observan en el capítulo final. La integración final y la puesta en

marcha resultaron sencillas y sin complicaciones, puesto que al término de cada etapa se lleva a cabo una prueba correspondiente para identificar si falta algún elemento a automatizar o si todas las tareas diseñadas están perfectamente integradas.

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°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 vidrio¹.

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 templar 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

¹ Fichas Técnicas 2.3 Tema: Vidrio Templado, Vidrio Termo endurecido Vidresif,
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 trabajo².*



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.

² Seguridad. Vidrio templado: Características, fabricación y aplicaciones.
Powered by AHC Microsistemas 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**³, además de posibles curvaturas u ondulaciones⁴.*

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

³ Reflejo de luz con algunos o todos los colores del arco iris.

⁴ Fichas Técnicas 2.3 Tema: Vidrio Templado, Vidrio Termo endurecido Vidresif,

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.

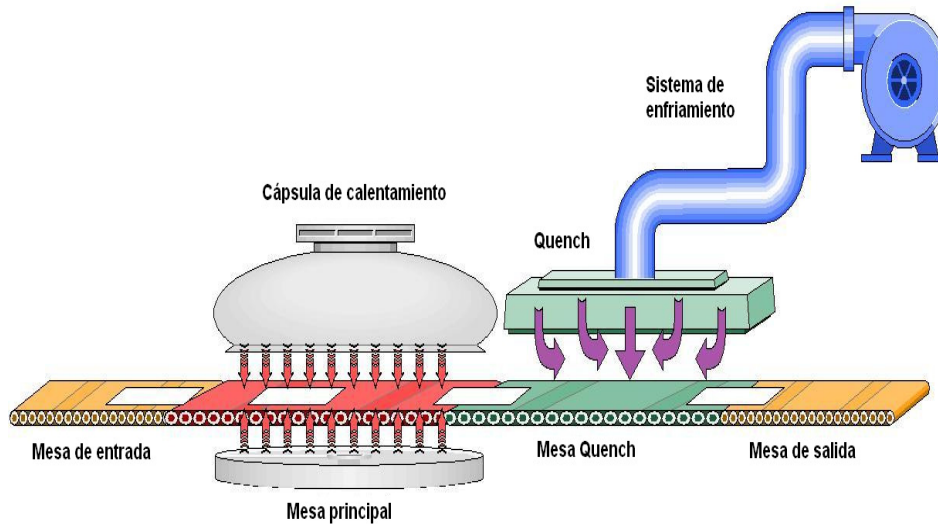


Figura 2.5 Etapas del proceso de templado.

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.

3. Arquitectura.

Para cualquier proceso se debe considerar la disponibilidad de los equipos en todo momento, por ello la necesidad de indicarle al controlador con diferentes elementos estará trabajando; para la automatización del horno de templado se necesitan equipos locales y equipos de periferia, éstos últimos interactúan con el controlador por medio de la red industrial Profibus.

La arquitectura determina los equipos necesarios para automatizar todas las etapas del proceso, es importante definir cómo van a interactuar cada uno de estos equipos para un correcto funcionamiento del proceso, por lo que el controlador debe identificar en todo momento a los dispositivos con los que estará trabajando. Cuando se ponen en marcha los dispositivos, el controlador comienza un reconocimiento de los elementos que dispone e identifica si existe algún problema en cuanto a la disposición de los mismos, incluso con los equipos de periferia y de otros fabricantes.

Para elegir los equipos y para lograr los objetivos planteados, es necesario identificar la cantidad de señales a controlar, el tipo de las mismas y de que forma se deben utilizar. Es importante definir un esquema general de los diferentes elementos para poder seleccionar que tecnologías permiten lograr la automatización del proceso de la forma más eficiente a un costo reducido es decir, seleccionar los equipos que cumplen todas las necesidades del proceso. En la figura 3.1 se observa un diagrama de los elementos requeridos para la automatización y a continuación se describen los dispositivos necesarios para la automatización del horno de templado de vidrio.

3.1 Equipos de automatización Siemens.

En la selección de los equipos de automatización del proyecto se analizan diferentes fabricantes, para poder seleccionar cual de ellos es la mejor opción para lograr el objetivo de templar vidrios, de acuerdo a las características planteadas por cada uno de los fabricantes el líder del proyecto decide que gran parte de la automatización se realizará con equipo de la marca Siemens, correspondiente a SIMATIC, que es la división encargada de todo lo referente a equipos de automatización como PLCs, interfaces hombre-máquina y sistemas SCADA. Para poder tomar esta decisión y realizar la mejor elección del controlador a utilizar, es necesario conocer los controladores de la familia SIMATIC de Siemens.

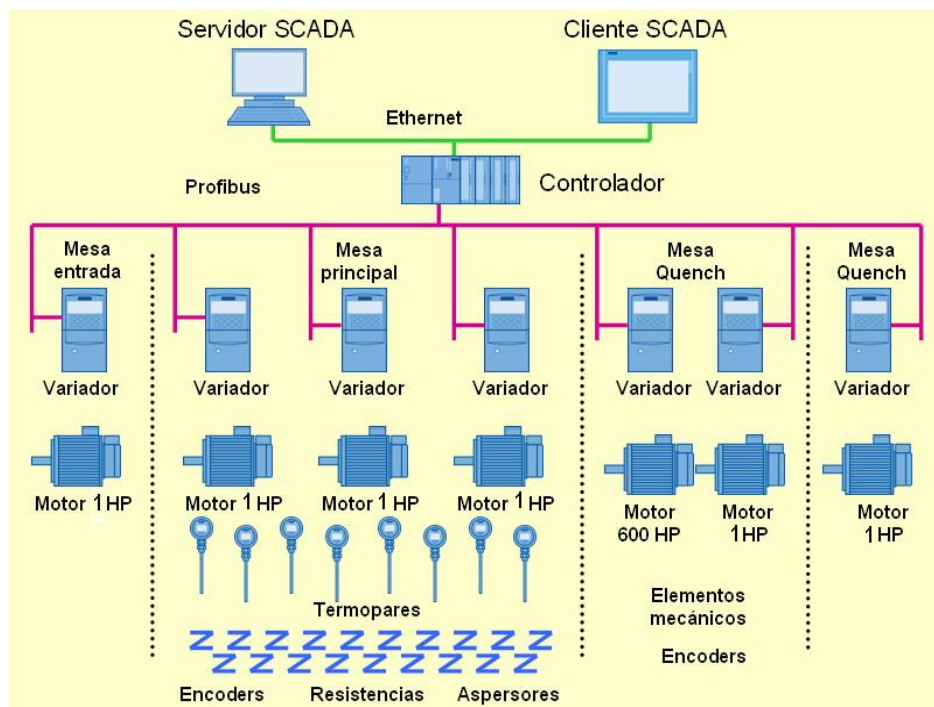


Figura 3.1 Arquitectura general del proceso a automatizar.

Para poder automatizar máquinas e instalaciones de forma rentable y flexible, se requieren soluciones óptimas para cada ámbito de aplicación. Los controladores SIMATIC cubren todas estas necesidades. En cuanto a las ventajas que presentan se tiene:

- *Mayor capacidad de producción gracias a las CPU de alta velocidad, también para tareas de comunicación y funciones aritméticas complejas.*
- *Fácil implementación de otras funciones, tales como funciones tecnológicas para control de movimiento, captura y almacenamiento intermedio de datos de control de calidad o conexión a un Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA) central.*
- *Máquinas más compactas gracias a las reducidas dimensiones de los controladores, a las numerosas funciones integradas y al funcionamiento sin necesidad de armario eléctrico.*
- *Ahorro de tiempo y dinero en el montaje y la puesta en marcha gracias a la automatización descentralizada.*
- *Cumplimiento de exigentes requisitos de seguridad con un único sistema para aplicaciones estándar y de seguridad.*

- *Mayor disponibilidad de la instalación y las máquinas gracias a las configuraciones tolerantes a fallos y a las potentes funciones de diagnóstico.*

Estos puntos son importantes ya que cumplen las necesidades del proyecto, tales como la comunicación con un sistema SCADA, reducción de espacio en el montaje ya que no se cuenta con mucho espacio para los tableros, la posibilidad de generar funciones de seguridad y la alta disponibilidad del sistema.

Los controladores modulares SIMATIC tienen un diseño optimizado para las tareas de control y están concebidos especialmente para proporcionar robustez y disponibilidad a largo plazo. Pueden ampliarse en cualquier momento de forma flexible por medio de módulos enchufables de E/S, de función y de comunicación. Según el tamaño de la aplicación puede seleccionarse el controlador adecuado dentro de una amplia gama según el rendimiento, la especificación de insumos y las interfaces de comunicación. Los controladores modulares pueden utilizarse también como sistemas de alta disponibilidad (sistemas redundantes) o de seguridad.

Todas las CPU con interfaz integrada PROFINET ofrecen la funcionalidad de servidor Web y permiten efectuar diagnósticos desde cualquier lugar a través de la red Ethernet Industrial. Utilizando un navegador de Internet estándar, cualquier cliente Web puede acceder en modo de sólo lectura a los datos de diagnóstico de una CPU PN, que opera como servidor para las páginas Web. Para ello, sólo hace falta que un cliente Web esté conectado con una CPU PN mediante Ethernet Industrial. A través de la red se puede acceder, entre otras, a la siguiente información de diagnóstico:

- *Identificación de módulos de la CPU (nombre de la estación, versión de sistema operativo, etc.).*
- *Estado operativo de la CPU (posición del selector de modo de operación).*
- *Búfer de diagnóstico de la CPU con registros en texto explícito.*
- *Estado de variables y tablas de variables configuradas en STEP 7.*
- *Mensajes proyectados en texto explícito (notificar errores de sistema).*
- *Parámetros y estadística Ethernet (dirección IP, dirección MAC, paquetes enviados)⁵.*

La función de acceso remoto a través de un navegador de Internet brinda la posibilidad de monitorear al controlador desde la oficina de mantenimiento en cualquier momento e identificar los problemas que se puedan llegar a generar de manera inmediata.

⁵ Folleto Controladores Simatic, Siemens AG Noviembre 2007.

El PLC S7-300 permite soluciones modulares de tamaño reducido. Además de los módulos, sólo se requiere un perfil de soporte para enganchar y atornillar los componentes. De este modo se obtiene un equipo robusto. La amplia gama de módulos para el S7-300 se puede utilizar para aplicaciones centralizadas o para diseñar estructuras descentralizadas.

Una vez analizada la cantidad de señales que se necesitan controlar se hace la elección de los equipos correspondientes.

Para el desarrollo de este proyecto, en primer lugar se selecciona el PLC, eligiendo un controlador de la familia S7-300, CPU 317-2 PN/DP. En cuanto a la funcionalidad del controlador, las siguientes características mostradas en las tabla 3.1, tabla 3.2, tabla 3.3 y tabla 3.4, son esenciales.

Un punto importante a destacar es la velocidad de procesamiento de la CPU, así como la cantidad de memoria disponible para almacenar valores temporales. El tamaño de la memoria es relevante por la gran cantidad de bloques a programar, sobre todo los bloques de datos que almacenan la información que va a proporcionar el SCADA y que en determinado momento el controlador le enviará. Estos puntos son mostrados en la tabla 3.1

Datos técnicos	
CPU y versión de producto	
Referencia	6ES7317-2EK13-0AB0
• Versión de hardware	01
• Versión de firmware	V 2.5
• Paquete de programas correspondiente	STEP 7 a partir de V 5.4 + SP 1 + HSP
Memoria	
Memoria de trabajo	
• Memoria de trabajo	1024 KB
• Ampliable	No
• Tamaño máximo de la memoria remanente para bloques de datos remanentes	256 KB
Memoria de carga	Insertable mediante Micro Memory Card (máx. 8 MB)
Respaldo	Garantizado por la Micro Memory Card (libre de mantenimiento)
Conservación de datos en la Micro Memory Card (tras la última programación)	Mínimo 10 años
Tiempos de ejecución	
Tiempos de ejecución para	
• Operaciones de bits	0,05 µs
• Operaciones de palabras	0,2 µs
• Aritmética en coma fija	0,2 µs
• Aritmética en coma flotante	1,0 µs

Tabla 3.1 Características de trabajo de la CPU 317-2 PN/DP. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x. Datos técnicos.

Los controladores de SIMATIC presentan dos memorias, cada CPU tiene una memoria interna dedicada al procesamiento de la lógica de control y otra área de memoria externa (por medio de una *micro memory card*) encargada de almacenar tanto los bloques de programación como los datos que se van generando, todo esto con el fin de realizar el procesamiento de la información de un modo eficiente para los procesos (figura 3.2).

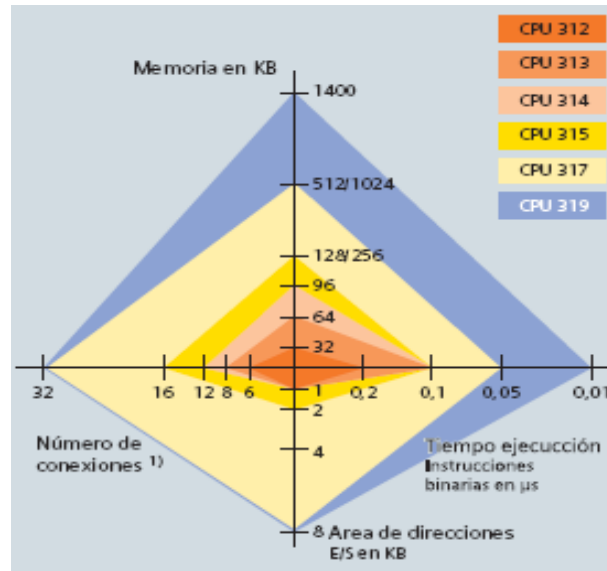


Figura 3.2 Relación memoria y tiempo de ejecución de las CPU's de la familia S7-300. Folleto Controladores Simatic, Siemens AG Noviembre 2007.

Muchas de las actividades de la aplicación se realizan por lapsos predeterminados, por ejemplo, la presión se mantiene un cierto tiempo y posteriormente cambia de forma drástica, posteriormente se mantiene un periodo y vuelve a la presión inicial. Por lo tanto, es importante tener en cuenta el número de temporizadores con los que cuenta el PLC, puesto que se requieren una gran cantidad de ellos. También se debe tener en cuenta la cantidad de bloques de ejecución cíclica, los cuales sirven para el manejo de la frecuencia de los variadores de velocidad, así como para controlar el funcionamiento de la regulación de temperatura por medio de controles PID.

La cantidad de contadores y temporizadores y bloques cíclicos soportados por el controlador elegido se muestran en la tabla 3.2.

Adicionalmente se debe contemplar la cantidad de señales, entradas y salidas, que se van a presentar en el sistema. Los módulos de señales son las interfaces del SIMATIC S7-300 con el proceso. Existe una amplia gama de módulos digitales y analógicos distintos. Los módulos analógicos y digitales se diferencian en el número de canales, la gama de tensión y de corriente, el aislamiento galvánico, la capacidad de diagnóstico y alarma, etc. La capacidad del controlador respecto a las señales soportadas se observa en la tabla 3.3

La CPU 317- 2 DP/PN se elige porque incluye dos interfaces de comunicación, Profibus y Profinet (Ethernet), las cuales son necesarias para la aplicación. Profibus es una red que permite la comunicación con los variadores de velocidad, el control de éstos se realiza a través del PLC modificando las palabras de control dedicadas al sentido y a la frecuencia de giro del motor. Por medio de la interfaz Profinet se obtiene la comunicación con el sistema SCADA para el óptimo intercambio de datos. En la tabla 3.4 se muestran las características de los puertos de comunicación integrados en el controlador.

Temporizadores/contadores y su remanencia	
Contadores S7	512
• Remanencia	Configurable
• Predeterminada	de Z 0 a Z 7
• Rango de contaje	0 a 999
Contadores IEC	Sí
• Clase	SFB
• Cantidad	Ilimitada (sólo por la memoria de trabajo)
Temporizadores S7	512
• Remanencia	Configurable
• Predeterminada	Sin remanencia
• Rango de tiempo	10 ms a 9990 s
Temporizadores IEC	Sí
• Clase	SFB
• Cantidad	Ilimitada (sólo por la memoria de trabajo)
Áreas de datos y su remanencia	
Marcas	4096 bytes
• Remanencia	Configurable
• Remanencia predeterminada	de MB0 a MB15
Marcas de ciclo	8 (1 byte de marcas)
Bloques de datos	
• Cantidad	2047 (en el rango numérico de 1 a 2047)
• Tamaño	64 KB
• Compatibilidad Non-Retain (remanencia ajustable)	Sí
Datos locales según prioridad	máx. 1024 bytes

Bloques	
Total	2048 (DBs, FCs, FBs) El número máximo de bloques cargables puede verse reducido por la Micro Memory Card utilizada.
OBs	v. lista de operaciones
• Tamaño	64 KB
• Número de OBs de ciclo libre	1 (OB 1)
• Número de OBs de alarma horaria	1 (OB 10)
• Número de OBs de alarma de retardo	2 (OB 20, 21)
• Número de alarmas cíclicas	4 (OB 32, 33, 34, 35)
• Número de OBs de alarmas de procesos	1 (OB 40)
• Número de OBs de alarmas DPV1	3 (OB 55, 56, 57)
• Número de OBs isócronos	1 (OB61)
• Número de OBs de arranque	1 (OB100)
• Número de OBs de errores asíncronos	6 (OB 80, 82, 83, 85, 86, 87) (OB 83 para PROFINET IO)
• Número de OBs de errores síncronos	2 (OB 121, 122)

Tabla 3.2 Número de temporizadores, contadores y bloques para almacenar información. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x. Datos técnicos

Imagen de proceso E/S	
• De ellos ajustables	
– Entradas	2048 bytes
– Salidas	2048 bytes
• De ellos preconfigurados	
– Entradas	256 bytes
– Salidas	256 bytes
Número de imágenes parciales de proceso	1
Canales digitales	
• Entradas	máx. 65536
• Salidas	máx. 65536
• Entradas, de ellas centralizadas	máx. 1024
• Salidas, de ellas centralizadas	máx. 1024
Canales analógicos	
• Entradas	máx. 4096
• Salidas	máx. 4096
• Entradas, de ellas centralizadas	máx. 256
• Salidas, de ellas centralizadas	máx. 256
Configuración	
Bastidores	máx. 4
Módulos por cada bastidor	8
Cantidad de maestros DP	
• Integrada	1
• a través de CP	4

Tabla 3.3 Cantidad de señales que se pueden utilizar. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x. Datos técnicos

Interfaces	
1a interfaz	
Tipo de interfaz	Interfaz RS 485 integrada
Física	RS 485
Separación galvánica	Sí
Alimentación de la interfaz (15 a 30 V c.c.)	máx. 200 mA
Funcionalidad	
• MPI	Sí
• PROFIBUS DP	Sí
• Acoplamiento punto a punto	No
• PROFINET	No
MPI	
Servicios	
• Comunicación PG/OP	Sí
• Routing	Sí
• Comunicación de datos globales	Sí
• Comunicación básica S7	Sí
• Comunicación S7	Sí
– Como servidor	Sí
– Como cliente	No (pero vía CP y FBs cargables)
• Velocidades de transferencia	Máx. 12 Mbit/s
2a interfaz	
Tipo de interfaz	PROFINET
Física	Ethernet RJ 45
Separación galvánica	Sí
Autosensing (10/100 Mbit/s)	Sí
Funcionalidad	
• PROFINET	Sí
• MPI	No
• PROFIBUS DP	No
• Acoplamiento punto a punto	No

Tabla 3.4 Interfaces de comunicación con otros dispositivos.
S7-300 CPU 31xC y CPU 31x, Datos técnicos.

Ambas redes son industriales y trabajan a diferentes velocidades de transmisión. Profibus es una red muy robusta para los ambientes industriales, pero puede obtener como máximo una velocidad de comunicación de 12 Mbits/s. Profinet, por otro lado, es el tipo de interfaz más común para la comunicación con sistemas SCADA por la necesidad de transmitir los datos en tiempo real, gracias

a la velocidad que maneja (100 Mbits/s). Las redes Profinet son una combinación de Profibus y Ethernet, esto da como resultado lo robusto de la red Profibus y la velocidad de transmisión Ethernet, además de que es una red determinística que se reserva un ancho de banda para la comunicación y otro para la información.

Finalmente, se utiliza el software Step 7 V5.4 de Siemens para realizar la programación del PLC elegido. Este software permite configurar la arquitectura de hardware y realizar la programación lógica de control, además brinda la posibilidad de escoger entre tres diferentes tipos de programación: programación en escalera (contactos eléctricos), programación lógica (compuertas) y programación a través de lista de instrucciones (parecido al lenguaje ensamblador). Para la aplicación se utilizan los lenguajes de programación en escalera y lista de instrucciones.

3.2 Variadores de velocidad.

Otro de los aspectos importantes del proyecto es el control de los motores que hacen funcionar cada una de las bandas del sistema de transporte del vidrio, así como el motor que se encarga de generar la presión para el enfriamiento del vidrio una vez que ha salido de la cápsula de calentamiento. Para ello se requiere utilizar dispositivos que ayuden a realizar dicho control.

Los variadores de velocidad sirven para tener un mejor control del movimiento de los motores. Para la aplicación se utilizan variadores de dos fabricantes. Para el movimiento de la banda transportadora se utilizan variadores Micromaster 440 de la marca Siemens y para el control del motor de enfriamiento un variador Altivar 71 de Schneider. Se deben conocer bien los variadores para lograr un óptimo aprovechamiento de ellos.

El convertidor MICROMASTER 440 se puede usar en numerosas aplicaciones de accionamiento de velocidad variable. Sus características principales son:

- *Configuración particularmente flexible gracias a la construcción modular.*
- *6 entradas digitales libremente parametrizables y aisladas galvánicamente*
- *2 entradas analógicas (0 a 10 V, 0 a 20 mA, escalable), configurables también como séptima y octava entrada digital.*
- *2 salidas analógicas parametrizables (0 a 20 mA).*
- *3 salidas a relevador parametrizables (DC 30V/5A carga resistiva; AC 250V/2A carga inductiva).*

- *Funcionamiento silencioso del motor gracias a altas frecuencias de pulsación.*
- *Protección para motor y convertidor⁶.*

Estos convertidores de frecuencia permiten controlar el movimiento de las bandas transportadoras ya que se requiere que la velocidad con la que traslada el vidrio sea variable de acuerdo al tamaño y tipo del vidrio a templar, adicionalmente por el movimiento oscilatorio requerido los motores deben de cambiar el sentido de giro constantemente.

Tanto el variador de velocidad Micromaster 440 como el Altivar 71 ofrecen una alta precisión y son controlados por las principales redes de comunicación, en este caso se utiliza la red Profibus para poder comunicar los variadores con el PLC.

El variador Altivar 71 presenta control vectorial de flujo con o sin captador para motores asíncronos, control de velocidad o de par, frecuencia de salida de hasta 1000 Hz y controles de los motores síncronos sin captador. Brinda además seguridad en todo el trayecto, protección en todos los niveles:

- a) Para el motor. Protección térmica, sondas PTC o relevador térmico-electrónico integrado, protección contra las sobre tensiones.*
- b) Para la máquina. Función de seguridad "Power Removal" (sin arranque intempestivo del motor), gestión de alarmas, gestión de fallos externos.*
- c) Para el variador. Protección automática en caso de sobrecalentamiento, limitación de corriente por hardware y software⁷.*

3.3 Arquitectura para el horno de templado.

Un proceso de automatización abarca diferentes etapas y elementos, la pirámide de la automatización identifica distintas etapas: los elementos de campo, el nivel de control, el nivel de operación y el nivel gerencial, por ello se deben considerar todos los elementos necesarios. Dentro de los elementos de campo se tienen cable, botoneras, relevadores, encoders, sensores, switches de límite, motores, componentes eléctricos, etc. Para el nivel de control el PLC y las tarjetas de señales. Finalmente en el nivel de operación se encuentra el sistema SCADA.

⁶ Convertidores de Frecuencia MICROMASTER 410/420/430/440.
Siemens AG Catálogo DA51.2 2006

⁷ Revista Contacto Publicación de Schneider Electric Argentina SA. No. 54, Año 16, Septiembre 2005.

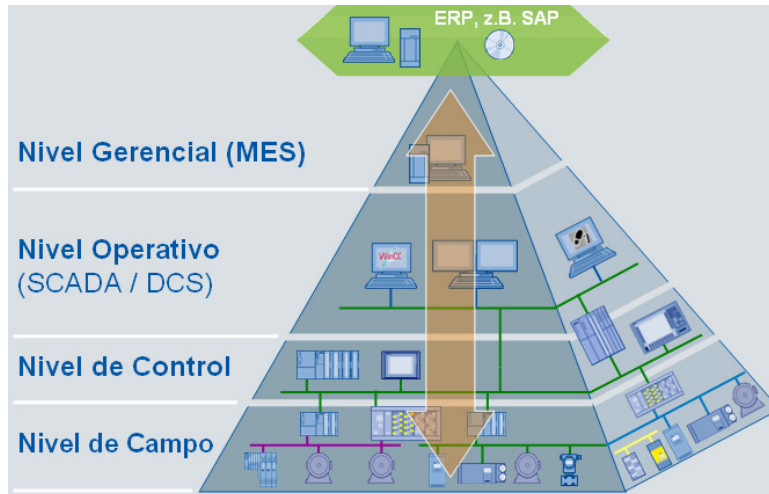


Figura 3.3 Pirámide de automatización.

Los equipos de control y las redes de comunicación definidos para la automatización del proceso son los siguientes: se requiere llevar a cabo el movimiento de cuatro bandas transportadoras, por medio de variadores de velocidad Micromaster 440 Siemens, el control del motor que hace el enfriamiento es a través de un variador Altivar 71 Schneider, el PLC utilizado para la automatización será CPU 317- 2 PN/DP, las tarjetas de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales serán SM Siemens, la comunicación con los equipos será con el protocolo Profibus y la comunicación con el SCADA será con Profinet.

La información de los dispositivos con los que interactúa el controlador es transferida a través de software, el PLC seleccionado requiere el software de programación Step 7 de Siemens, el cual permite definir la configuración de Hardware como la lógica de control. Esta herramienta además de generar la arquitectura de los equipos de control, permite definir el direccionamiento de cada una de las señales involucradas, una vez que se anexa cada dispositivo el sistema le otorga una dirección para su posterior identificación al implementar la lógica de control, cuando se termina el diseño de la arquitectura se compila para determinar si existe algún error y posteriormente se carga al PLC, con el fin de que comience a realizar una lectura de cada dispositivo y el correcto funcionamiento de las redes de comunicación.

El sistema debe ser capaz de controlar 40 señales analógicas para termopares y el control de elementos mecánicos del Quench y 86 señales digitales para

sensores, encoders y el control de los aspersores de la cápsula de calentamiento, adicionalmente del control de motores por medio de variadores de velocidad.

Los equipos locales son colocados sobre un riel y se comunican con el controlador de manera directa por medio de un conector en la parte posterior de cada tarjeta. Los sistemas para el PLC de la familia S7-300 sólo permiten una expansión de hasta 4 rieles y por cada riel sólo se pueden disponer 8 tarjetas de señales. Además se debe respetar el acomodo de cada una de las tarjetas de la siguiente manera: el primer espacio está reservado para la fuente de alimentación, en el segundo debe ir la CPU, el tercero es para realizar una expansión de señales si es necesario y del espacio 4 al 11 se colocan los módulos de señales. Si se necesita otro riel para expandir los módulos de señales sólo se considera el primer espacio para la fuente de alimentación y los espacios 4 al 11 para las tarjetas. Para el resto de los dispositivos se requiere del protocolo de comunicación Profibus DP para lograr la interacción del controlador con los variadores de velocidad.

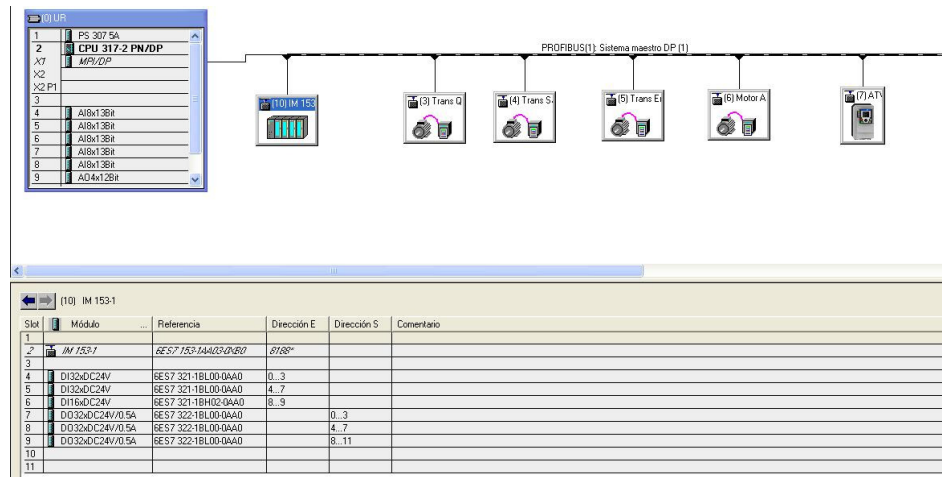


Figura 3.4 Herramienta de configuración de Hardware.
Arquitectura del Horno de Templado.

Por la gran cantidad de señales involucradas es necesario emplear 2 rieles. En el primer riel se encuentra el controlador y los módulos de señales analógicas y en el segundo riel los módulos de señales digitales. Para poder llevar la comunicación al segundo riel se utiliza una tarjeta que permite descentralizar los módulos con un límite de 10 m. En la figura 3.5 se observa la implementación de 2 rieles para poder colocar las fuentes de alimentación, el

controlador y todas las tarjetas de señales necesarias para lograr el control de los diferentes elementos de campo.

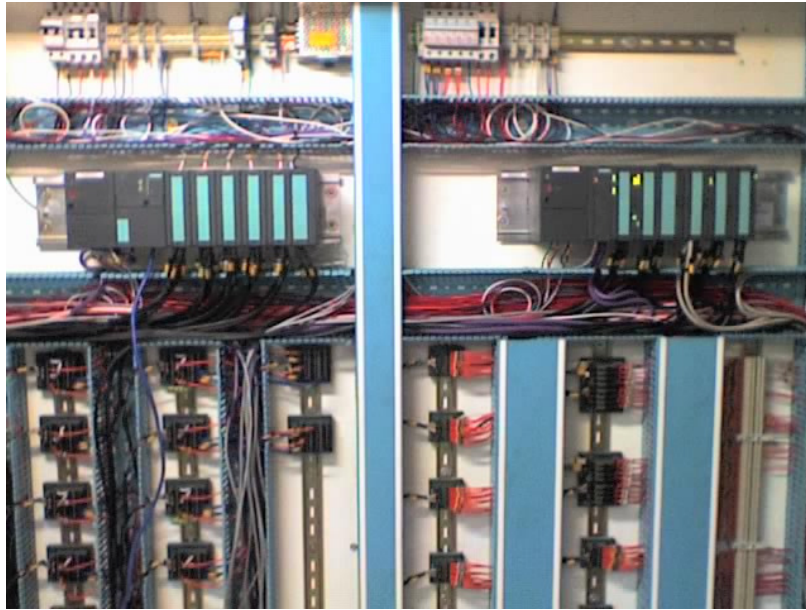


Figura 3.5 Controlador, módulos analógicos y digitales.

Para controlar todas las señales requeridas se necesitan 5 tarjetas de 8 entradas analógicas, todas ellas configuradas para leer los elementos entre un rango de 4 a 20 mA y 1 tarjeta de 4 salidas analógicas configurada para un rango de +/- 10 V. Respecto a las señales digitales se requieren 2 tarjetas de 32 entradas digitales, 1 tarjeta de 16 entradas digitales y 3 tarjetas de 32 salidas digitales, todas ellas trabajan con alimentación a 24 VCD y muestran estados de activo o inactivo (0 – 1 ó 0 – 24 V).

La CPU 317-2 PN/DP presenta un puerto de comunicación Profibus por lo que no se requiere de una tarjeta de comunicación adicional. Dentro de las propiedades de la CPU se da de alta la red de comunicación y la velocidad a la que estará trabajando, la cual es de 1.5 Mb/s, finalmente se establece la comunicación con los variadores de velocidad por medio de la red Profibus, donde cada variador se parametriza a través de una pantalla integrada en el mismo dispositivo, en la que se ajustan diferentes parámetros como el rango de frecuencia, la corriente y tensión del motor, etc.

El controlador realiza la lectura y escritura del sentido de giro y la frecuencia a la que gira el motor por medio de una palabra de control, cada parámetro es representado por un valor de 16 bits. La herramienta de configuración de hardware permite conocer la dirección de dicho valor para posteriormente manipularla en la lógica de programación.



Figura 3.6 Variadores de Velocidad Micromaster 440.

3.4 Análisis del SCADA propuesto.

El proceso de templado de vidrio requiere que un operador interactúe con el proceso. Para que el PLC pueda recibir datos del operador se debe tener una Interfaz Hombre – Máquina (HMI), generalmente a través de un panel de operador y el procesamiento de los datos registrados se efectúa mediante un sistema SCADA.

De acuerdo al objetivo de este trabajo únicamente se tiene que realizar la comunicación entre el SCADA diseñado y programado previamente y el PLC, el software SCADA seleccionado es Movicon de la compañía Progea con el que se lleva a cabo la interacción entre el operador y el proceso, y a su vez se tiene un sistema de adquisición de datos.

El SCADA seleccionado permite el control y monitoreo de las señales del proceso, la posibilidad de integrar una base de datos al sistema por medio de programación en visual Basic, un sistema de administración de usuarios y la posibilidad de presentar los datos históricos por medio de tablas y gráficas de valores con respecto al tiempo

En el sistema SCADA básicamente se tiene la introducción de datos, como por ejemplo los tiempos que va a durar el vidrio en el horno; y a su vez se almacenará en una base de datos la información generada durante el proceso completo. Por lo anterior, sólo se requiere establecer la comunicación a través de Profinet (TCP/IP) con el PLC y determinar la información que se va a leer y la que se va a enviar al sistema SCADA.

3.5 Análisis del proyecto.

Una vez establecida la arquitectura se debe dividir el proyecto general en partes, donde cada una de ellas depende de la anterior, de modo que todas las partes en conjunto darán como resultado el funcionamiento total de la aplicación. Así cada una de las funciones generadas proporciona una serie de elementos con los que se puede comenzar la siguiente fase del proyecto, de éste modo se prueba cada una de las funciones que se generan individualmente y en conjunto con las anteriores, con lo que se espera evitar errores futuros y tener una puesta en marcha mucho más sencilla.

3.5.1 División del proyecto.

Para que el proceso se desarrolle de manera óptima, es decir, en menor tiempo y con el mejor rendimiento posible, existen cuatro etapas que son fundamentales: el sistema de transporte del vidrio, el calentamiento y enfriamiento del vidrio y la comunicación con el sistema SCADA. Cada una de las etapas requiere la correcta automatización de la anterior, ya que depende de señales generadas en la etapa que le precede.

En primer lugar se automatiza el sistema de las bandas transportadoras, comenzando por la correcta parametrización de todos los variadores de velocidad de cada una de las bandas, posteriormente se lleva a cabo la comunicación con el controlador. Con los variadores funcionando correctamente se inicia el control de cada una de las bandas involucradas en el sistema, mesa de entrada, mesa principal, mesa Quench y mesa de salida.

Con el sistema de transporte funcionando el siguiente paso es la automatización del sistema de enfriamiento. Se debe en primer lugar, parametrizar el variador de velocidad que controla el motor de 600HP y se comunica con el controlador. Una vez establecida la comunicación se programan las diferentes rampas (cambios de presión por medio del cambio de la velocidad de giro del motor), que se necesitan dependiendo del vidrio a temprar.

Dicho estimado se define otorgando mayor tiempo a las etapas primordiales del proceso como el sistema de transporte, las rampas para el enfriamiento del vidrio y los PIDs que controlan el encendido de las resistencias en la cápsula de calentamiento.

4. Automatización del sistema de transporte.

Una vez efectuada la planeación y la adquisición de equipos se debe comenzar con la programación de todos los elementos que se necesitan controlar, para ello se utiliza el software que permite hacer el control de los PLCs de la familia S7 - 300, llamado Step 7.

Como primer paso se necesita automatizar la función que realiza el traslado del vidrio por todo su recorrido, así como los movimientos que deben realizarse en cada una de las partes del proceso. A partir de esta tarea se divide el movimiento en cuatro etapas denominadas: mesa principal, mesa Quench, mesa de entrada y mesa de salida. Por el traslado que se debe generar, todas las mesas deben estar sincronizadas, la mesa principal es la que coordina el movimiento de las demás mesas. La mesa principal, que es la que se encuentra en donde se realiza el calentamiento del vidrio, solicita a la mesa de entrada el vidrio a transportar cada vez que realiza un ciclo, cuando solicita un vidrio más a la mesa de entrada también traslada el vidrio que tiene a la mesa Quench para llevar a cabo el enfriamiento. Ésta a su vez controla el funcionamiento de la mesa de salida, cuando termina el enfriado del vidrio activa la mesa de salida para sacar al vidrio del proceso.

El templado requiere que el vidrio pase de la mesa de entrada a la mesa principal, en esta última el vidrio realiza oscilaciones. El operador indica la cantidad de vidrios que pueden estar al mismo tiempo dentro de la mesa y, a su vez, esto determina la cantidad de veces que repite las oscilaciones el vidrio. Posteriormente el vidrio pasa a la mesa Quench donde también realiza un movimiento oscilatorio durante el tiempo de enfriamiento programado y finalmente se transporta a la mesa de salida donde el vidrio termina su traslado.

En la siguiente figura 4.1 se muestra el movimiento que debe realizar el vidrio durante todo el proceso, desde la entrada hasta la salida. La programación de las bandas transportadoras se elabora a partir del siguiente diagrama, y se realiza una función para cada una de las bandas de todo el proceso. Éste capítulo define el diseño de la función para el sistema de transportación del vidrio, así como su programación.

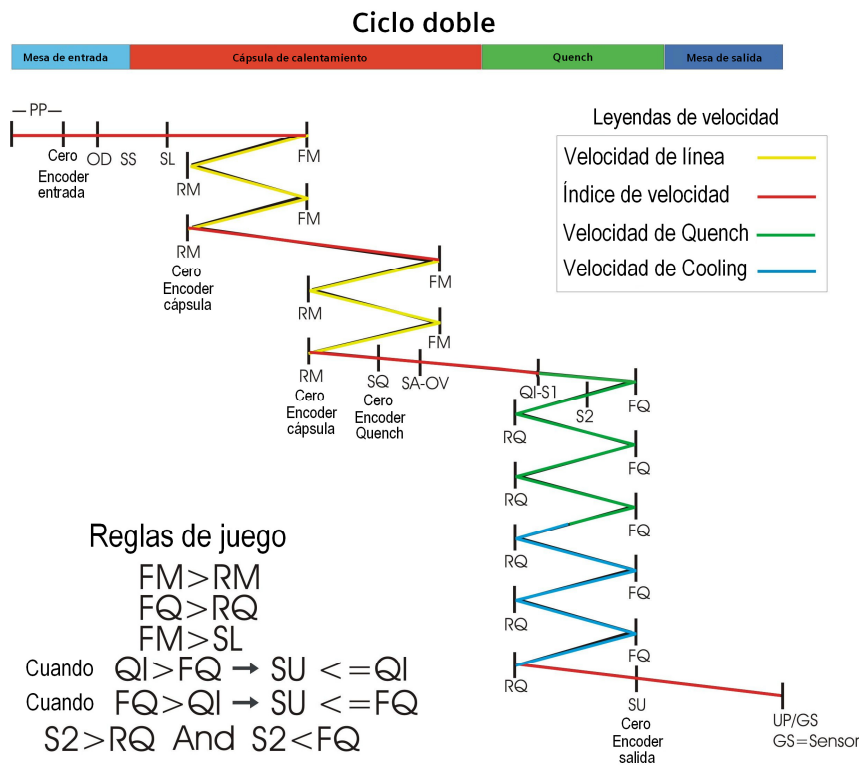


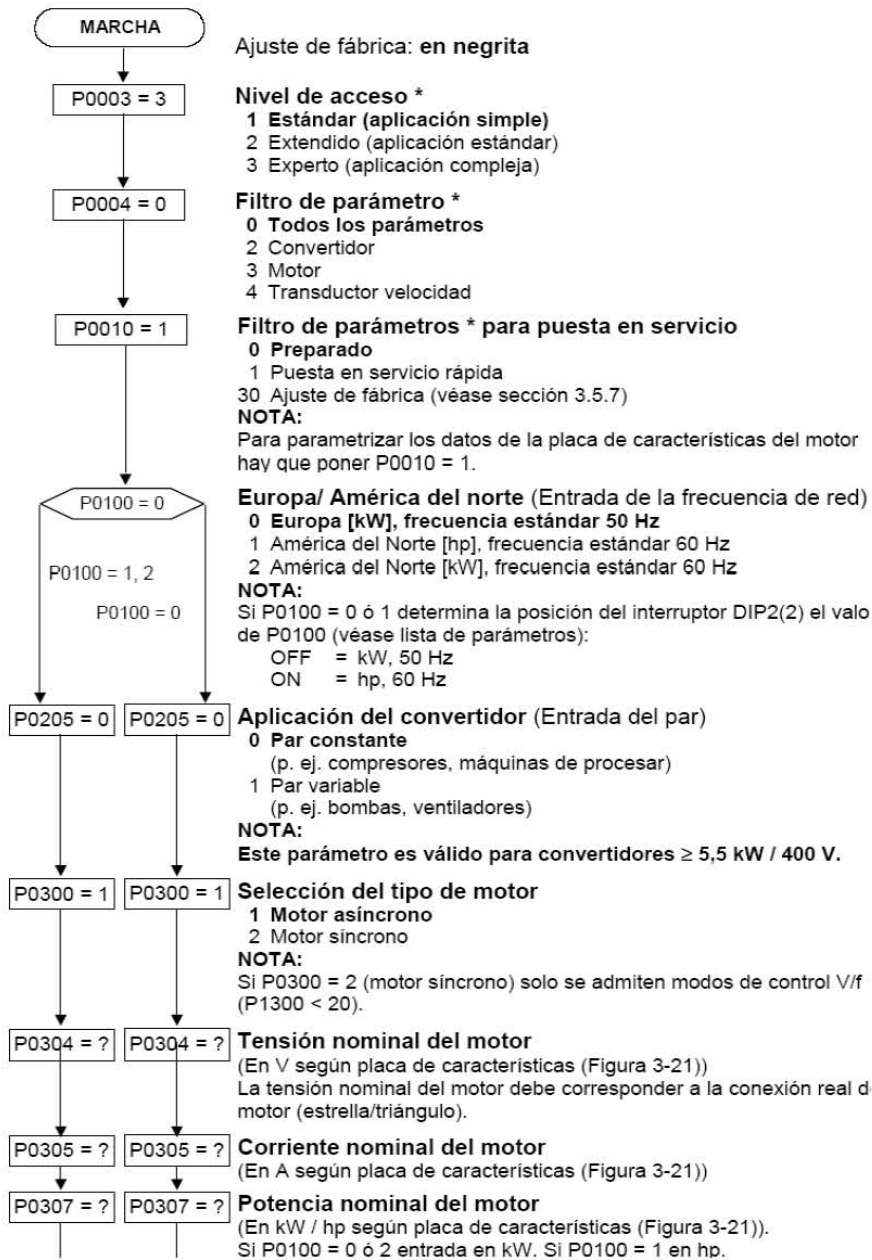
Figura 4.1 Diagrama de movimientos del sistema de transporte.

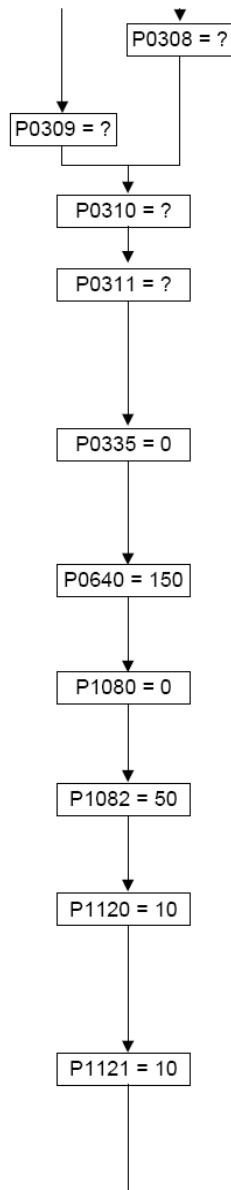
4.1 Comunicación de la banda transportadora con un variador de velocidad Micromaster.

El controlador elegido para la automatización de los elementos permite integrar dispositivos de campo. Por medio de una herramienta del software empleado para la programación, el controlador identifica con qué elementos debe interactuar. Dicha herramienta sirve para definir la configuración de Hardware llamado HW Config, en la cual se define la arquitectura de todos los equipos que están involucrados en el proceso. El PLC utilizado además cuenta con un puerto de comunicación con la red Profibus para comunicarse con los variadores de velocidad.

Una vez que se realiza la configuración correspondiente se descarga al PLC y se comprueba la disponibilidad de los variadores de velocidad poniendo en línea al controlador por medio del software de programación. En el variador de

velocidad Micromaster se lleva a cabo la puesta en servicio rápida, modificando algunos parámetros, como se muestra en la figura 4.2.





P0308 = ? Factor de potencia nominal del motor

(Entrada según placa de características (Figura 3-21); $\cos \phi$). Si el ajuste es igual a 0 se calcula el valor automáticamente.

P0309 = ? Rendimiento nominal del motor

(Entrada en % según placa de características (Figura 3-21)). Si el ajuste es igual a 0 se calcula el valor automáticamente.

P0310 = ? Frecuencia nominal del motor

(Entrada en Hz según placa de características (Figura 3-21)). La cantidad de los pares de polos se calcula automáticamente.

P0311 = ? Velocidad nominal del motor

(En V/min según placa de características (Figura 3-21)) Si el ajuste es igual a 0 se calcula el valor internamente.

NOTA:

La entrada es imprescindible para: control vectorial, control V/f con FCC y compensación de deslizamiento.

P0335 = 0 Refrigeración del motor (Sistema de refrigeración)

- 0 Autoventilación por ventilador montado en el eje del motor
- 1 Ventilación forzada por ventilador externo (ventilador ajeno)
- 2 Autoventilación y ventilador interno
- 3 Ventilación forzada y ventilador interno

P0640 = 150 Factor de sobrecarga del motor (En % según P0305)

Determina en % el valor máx. de salida de la corriente nominal del motor (P0305). Este parámetro se pone vía P0205 a 150 % (para par constante) y a 110 % (para par variable).

P1080 = 0 Frecuencia mínima (En Hz)

Ajusta la frecuencia mínima con que funcionará el motor independientemente de la consigna de frecuencia. El valor que se ajuste aquí sirve para ambos sentidos de giro.

P1082 = 50 Frecuencia máxima (En Hz)

Ajusta la frecuencia máxima con que se limita el motor independientemente de la consigna de frecuencia. El valor que se ajuste aquí sirve para ambos sentidos de giro.

P1120 = 10 Tiempo de aceleración (En s)

Tiempo que necesita el motor p. ej. para acelerar desde el punto muerto hasta la frecuencia máx. P1082. Parametrizar un tiempo demasiado corto puede producir la alarma A0501 (limitación de la corriente) o que se desconecte el convertidor con el fallo F0001 (sobrecorriente).

P1121 = 10 Tiempo de deceleración (En s)

Tiempo que necesita el motor p. ej. para desacelerar desde la frecuencia máx. P1082, hasta el punto muerto. Parametrizar un tiempo demasiado corto puede producir la alarma A0501 (limitación de la corriente) o A0502 (límite por sobretensión) o que se desconecte el convertidor con el fallo F0001 (sobrecorriente) o F0002 (sobretensión).

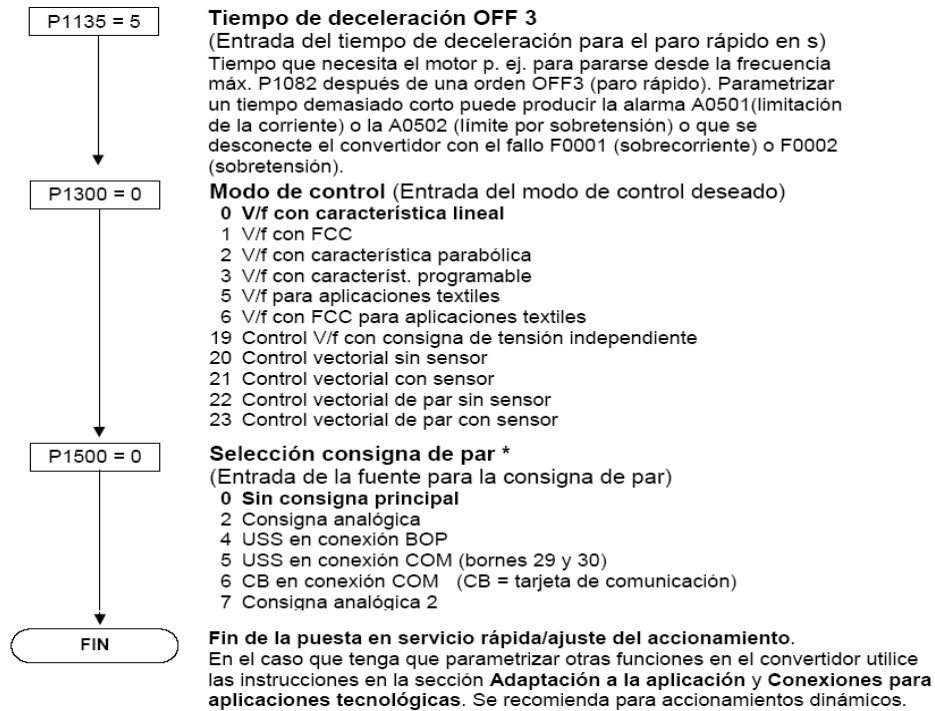


Figura 4.2 Puesta en servicio rápida.
Micromaster 440 Instrucciones de uso.

Siguiendo los pasos descritos en la figura 4.2 se realiza la configuración de cada uno de los variadores para poder controlarlos a través del PLC de modo automático, con esto el funcionamiento de los variadores depende de la lógica a programar dentro de Step 7, en donde se envía la información correspondiente para el control del giro y frecuencia del variador. Para los movimientos de las mesas por donde se transporta el vidrio se utiliza un rango de frecuencia de 0 a 60 Hz.

4.2 Mesa principal.

El aspecto más importante del movimiento del vidrio se concentra en la mesa principal, ya que ella es la que controla el funcionamiento de las demás mesas, aquí se determina la cantidad de láminas de vidrio que puede tener dentro de la cápsula y además el accionamiento de los aspersores colocados en cada una de las zonas con las que cuenta la cápsula.

El movimiento del vidrio dentro de esta mesa se da de forma oscilatoria, es decir, la banda transportadora debe funcionar en ambos sentidos de modo que el vidrio pueda ir para adelante y para atrás. Además, conforme avanza el vidrio sobre la mesa, se activan distintas señales que sirven para el accionamiento de diversos dispositivos durante todo el proceso, como la posición actual del vidrio o para el accionamiento de aspersores.

Para saber en qué parte de la banda se encuentra el vidrio, se utilizan encoders que determinan el lugar del vidrio en un momento específico del proceso, los cuales sirven para identificar el instante en el que la banda debe de cambiar el sentido de giro.

La mesa principal consta de un arreglo de 3 motores de 1 HP que trabajan sincronizadamente, puesto que con un motor no sería suficiente para moverla a gran velocidad, ya que la mesa es larga y además lleva rodillos pesados. La sincronización se hace a través de un variador de velocidad como maestro y los otros dos como esclavos. Para realizar esta sincronización basta con ajustar ciertos parámetros referentes al torque, la velocidad, el sentido de giro y la comunicación entre cada uno de los variadores involucrados.

Cada una de las mesas puede funcionar en modo manual o automático. En modo manual el movimiento del motor es sólo en un sentido y a velocidad constante, y se realiza a través de un botón pulsador (jog), en modo automático el movimiento se efectúa a través de una secuencia de oscilaciones programadas en el controlador.

4.2.1 Oscilación del vidrio.

Para poder automatizar la Mesa de entrada, en primer lugar se debe de conocer cómo debe transportarse el vidrio, para ello utilizamos esquema presentado en la figura 4.3 en el cual se puede observar cómo se tiene que efectuar el movimiento.

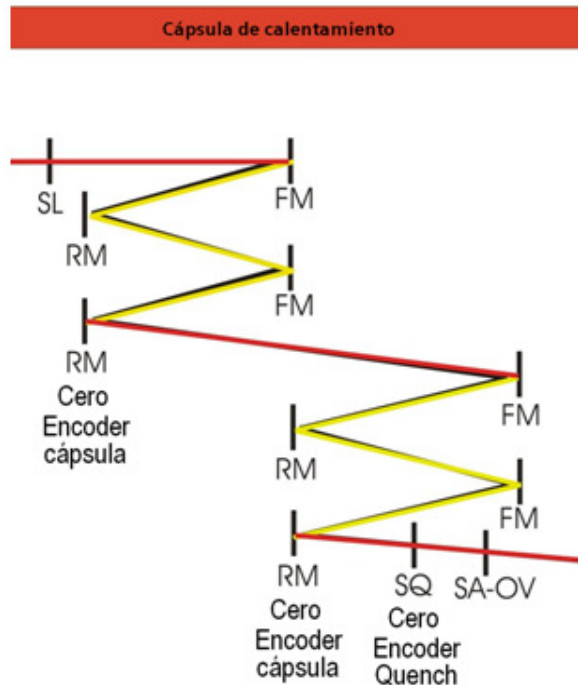


Figura 4.3 Oscilaciones en la mesa principal.

Como parámetros iniciales se definen dos puntos para generar un intervalo en el cual va a estar oscilando el vidrio, en este caso llamados RM y FM. A la posición inicial dentro de la mesa principal donde oscila el vidrio se denomina RM y a la posición final FM. Adicionalmente se tienen la señal SL que indica en que momento se debe realizar la transición del vidrio de la mesa de entrada a la mesa principal y la señal SQ que indica el momento en que se realiza el traslado del vidrio de la mesa principal a la mesa Quench.

Dependiendo del número de vidrios que se requieren tener al mismo tiempo en la Mesa principal, o de cargas dentro de la cápsula, es la distancia que se debe recorrer, en otras palabras, si se tienen más cargas se necesita un intervalo más pequeño de movimiento para cada carga, si sólo se presenta una carga se puede realizar una oscilación mucho más larga. El número de cargas máximo para esta aplicación es de cinco vidrios, ya que por las dimensiones de los mismos no se pueden colocar más. Así mismo, se necesita definir el número de veces que debe mantenerse la oscilación (reversas) para conocer en qué momento se va a introducir un nuevo vidrio o se debe trasladar el vidrio caliente a la siguiente mesa.

Una vez conocido el funcionamiento básico de la oscilación se procede a la programación de la mesa a través de una función dentro del programa Step 7, la cual contiene las siguientes acciones:

En primer lugar se tiene que leer la velocidad de la línea en el sistema SCADA, es decir la velocidad con la que se va a mover la banda y escalarla de modo que el variador reciba el valor de forma correcta, el variador funciona con frecuencias de 0 a 60 Hz. Además se debe escalar la velocidad con la que se trasladará el vidrio a la Mesa Quench y con la que se recibirá el vidrio de la Mesa de entrada. Este escalamiento se debe a que el operador introduce valores entre 0 y 60 Hz, y la palabra de control encargada de la frecuencia de giro requiere valores entre 0 y 1800.

Posteriormente se divide el movimiento en cuatro diferentes combinaciones con las cuales se cumplen todas las posibilidades, no importando el número de reversas y de cargas; estas combinaciones surgen al comparar la posición actual con los límites de movimiento RM y FM. En la tabla 4.1 se observan las condiciones que se deben cumplir para acceder a cada una de las combinaciones.

Combinación	Dirección de movimiento del vidrio	Límite FM	Límite RM
1	Izquierda a derecha »»»»	Mayor o igual	-
2	Izquierda a derecha »»»»	Menor	-
3	Derecha a izquierda ««««	-	Menor o igual
4	Derecha a izquierda ««««	-	Mayor

Tabla 4.1 Condiciones para acceder a cada combinación de la mesa principal.

En la figura 4.4 se presenta el código con el fin de mostrar el editor de programa que usa Step 7, dicho código fue desarrollado en el formato AWL (lista de instrucciones). El código realiza las comparaciones de las posiciones y si se cumple la condición llama a la función encargada de la combinación correspondiente.

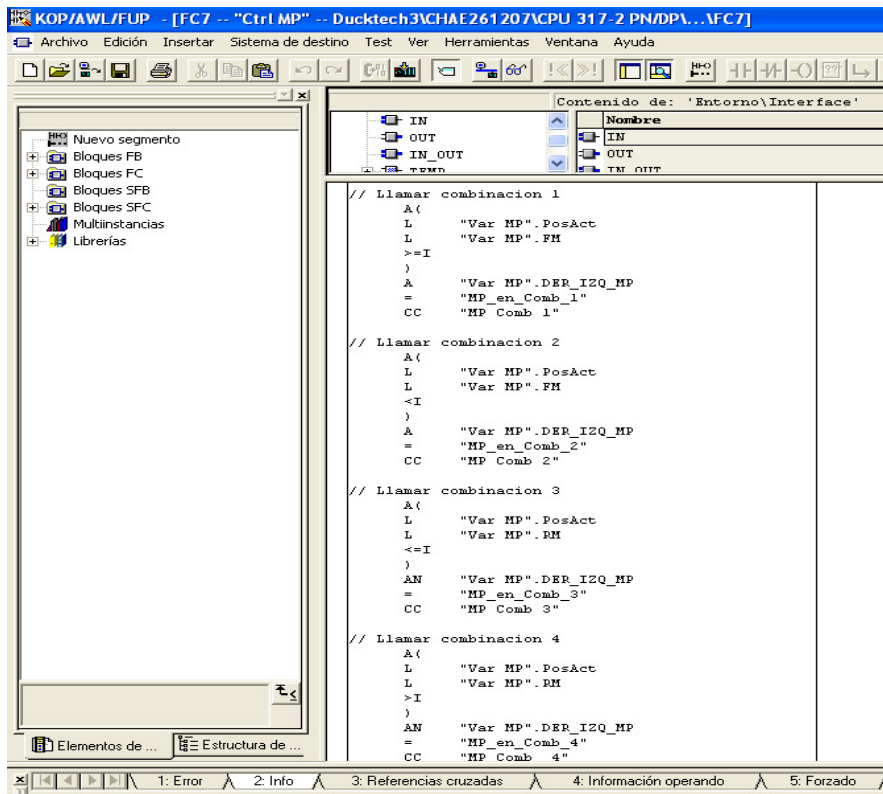


Figura 4.4 Programación de las combinaciones en AWL.

Una vez definidas las combinaciones con las cuales va a trabajar la Mesa principal se procede a la programación de cada una de estas combinaciones, detalladas a continuación. Para saber el orden de las combinaciones que se ejecutan después de la transición del vidrio de la mesa de entrada a la mesa principal, se utiliza el esquema mostrado en la figura 4.5 y posteriormente se describen las funciones que deben ejecutar. Dicho orden se define a partir de las condiciones mostradas en la tabla 4.1.

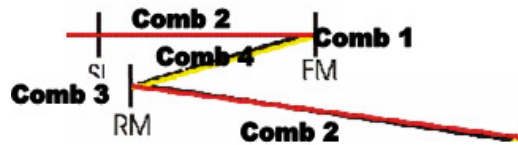


Figura 4.5 Combinaciones a partir de la oscilación.

Al terminar la transición la banda se mueve de izquierda a derecha a y la posición del encoder es menor a FM, por lo tanto la primer combinación que se ejecuta es la combinación 2. Posteriormente el valor del encoder es mayor a FM por lo que se cumplen las condiciones para la combinación 1, en ese momento cambia el sentido de giro, por lo tanto el vidrio se mueve de derecha a izquierda y el valor del encoder es mayor a RM por lo que se ejecuta la combinación 4 y finalmente el valor del encoder es menor a RM con lo que se realiza la combinación 3.

En primer lugar se analiza la Combinación 2, ya que es la primera etapa en la que se encontrará el vidrio dentro de la Mesa principal. Aquí se debe incrementar el encoder para saber la posición actual en la que se encontrará el vidrio dentro de la cápsula, esto se hace a través de una sumatoria de la posición actual más uno. Posteriormente se procede a definir si el movimiento del vidrio es con una velocidad de línea (velocidad de oscilación) o se va a utilizar una velocidad de índice (velocidad de traslado de vidrio), para enviarle la frecuencia requerida al variador de velocidad por medio de una señal que indica si va a haber un traslado (si tiene valor 1) o continúa en la oscilación (si tiene valor 0). En esta etapa se activan los aspersores colocados en la parte superior de la cápsula, los cuales estarán encendidos un cierto tiempo definido por el usuario del sistema SCADA. Finalmente con esta misma señal se definen las acciones que controlarán elementos de otras mesas, lo cual se observará en el apartado Control de las demás mesas de trabajo.

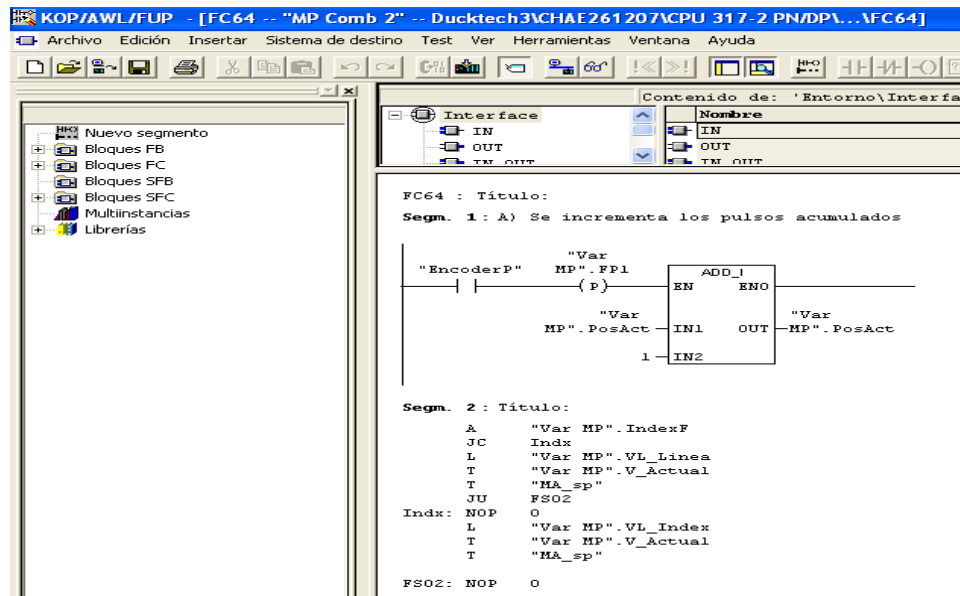


Figura 4.6 Combinación 2, movimiento de la banda a la derecha.

Para la Combinación 1 sólo se requiere incrementar el encoder y cambiar el sentido en el cual el variador se encuentra girando, ya que el vidrio seguirá en oscilación, así pues debe conservarse la velocidad de línea. Tomando en cuenta que el variador de velocidad no se detendrá instantáneamente por la inercia que presenta y cambiará el sentido del giro, la condición para entrar a esta combinación indica que la posición actual sea mayor o igual a FM, con lo cual se concluye que en esta fase sólo se hace el cambio en el sentido de giro.

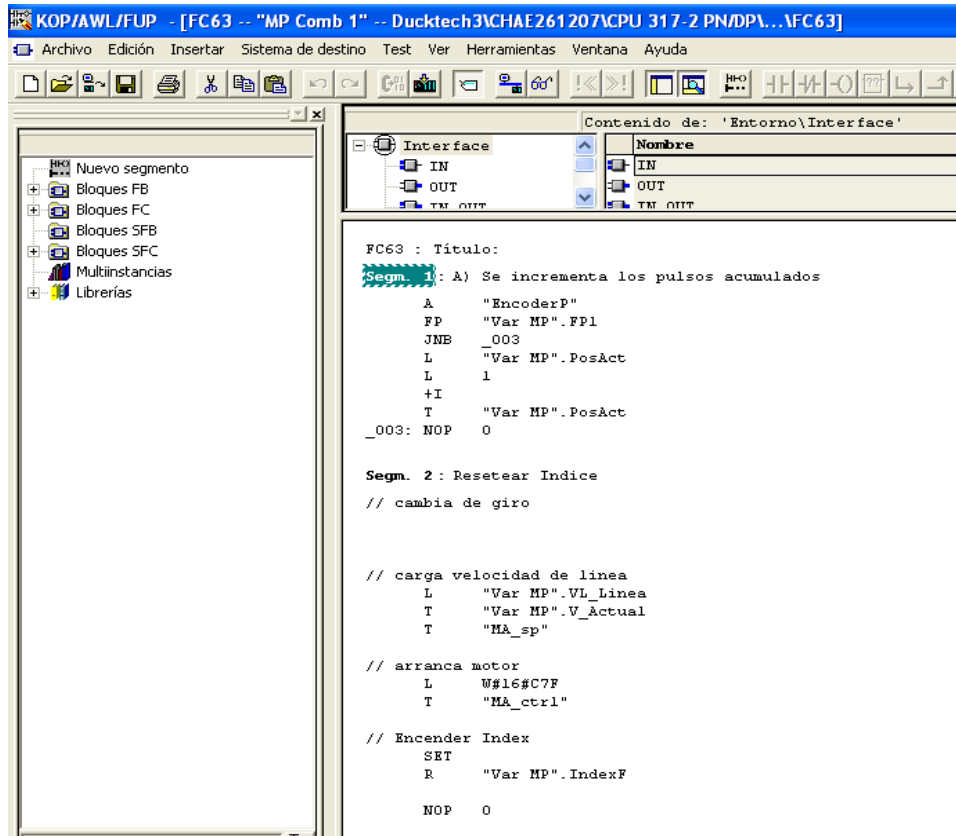


Figura 4.7 Combinación 1, cambio en el sentido de giro de la banda.

La Combinación 3 es de suma importancia ya que indica el número de cambios en el sentido de giro (reversas) que hacen falta para saber si se debe seguir en la oscilación o se tiene que trasladar el vidrio a la siguiente mesa. En primer lugar, se debe decrementar el estado del encoder porque el sentido del movimiento es de derecha a izquierda, una vez definido esto se tiene que cambiar el sentido en el que gira la banda transportadora modificando la palabra de control que afecta el giro del motor.

En este punto se va a realizar además la resta de reversas para conocer cuántos movimientos faltan para terminar la oscilación. Posteriormente se compara el número de reversas para saber si se requiere mantener la velocidad de línea para seguir dentro de la oscilación o si se debe activar la velocidad de índice para transportar el vidrio hacia la siguiente mesa.

Es importante mencionar que el número de reversas son definidas por el operador, a través del sistema SCADA. En este caso se deben guardar todos los datos provenientes de este sistema en los llamados bloques de datos (DBs) que utiliza el PLC para el almacenamiento de información. Este paso se hace utilizando un direccionamiento indirecto ya que el SCADA utilizado no permite escribir directamente los datos en los bloques de datos, por lo que se deben direccionar primero a un área de memoria del PLC y de allí enviarlos manualmente a los bloques de datos utilizando lógica en el PLC.

```

FC65 : Título:
Segm. 1 : A) Se Decrementan los pulsos acumulados
      A   "EncoderP"
      FP  "Var MP".FP1
      JNB _001
      L   "Var MP".PosAct
      L   -1
      +I
      T   "Var MP".PosAct
_001: NOP  0

Segm. 2: Sentido de giro 0 Der, 1 Izq
      A   "Var MP".EJEC1
      JC  FIN

// arranca motor (CAMBIA GIRO)
      L   W#16#47F
      T   "MA_ctrl"

// Decrementar reversas

      L   "Var MP".REVACT
      L   1
      -I
      T   "Var MP".REVACT

      SET
      S   "Var MP".EJEC1

FIN:  NOP  0

```

Figura 4.8 Combinación 3, decremento de reversas para conocer próximo movimiento del sistema de transporte.

Finalmente, con la Combinación 4 se activan nuevamente los aspersores y como la banda efectúa su movimiento en sentido contrario, es decir, de izquierda a derecha se debe decrementar el valor de los pulsos del encoder, para conocer la posición del vidrio en cualquier parte de toda la cápsula de calentamiento.

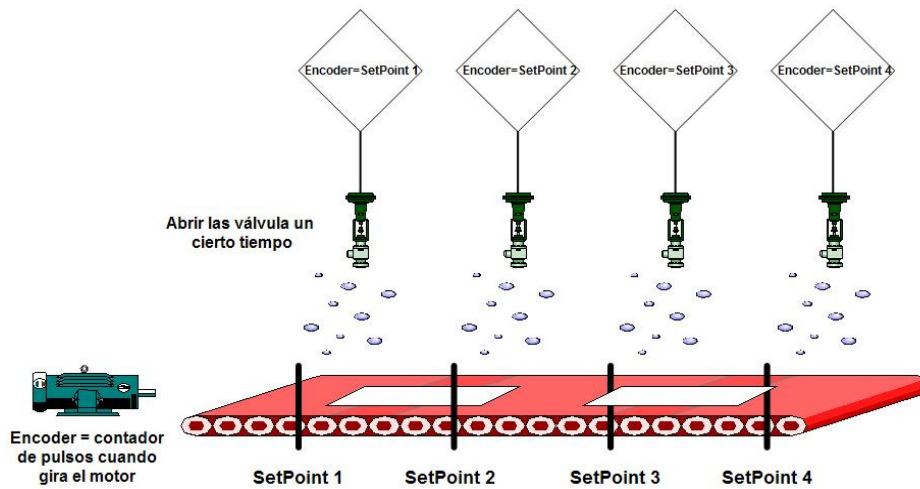
4.2.2 Aspersores.

Para que se realice un templado de calidad el proceso requiere que mientras el vidrio se encuentra en la cápsula de calentamiento permanezca húmedo, para ello se requiere activar una línea de aspersores, los cuales se encuentran colocados en la parte superior de la cápsula de calentamiento y se activan mientras se está desarrollando la oscilación de vidrio, ya sea cuando se mueve de derecha a izquierda o viceversa.

De este modo, se debe conocer en qué parte de la oscilación se encuentra el vidrio para efectuar la activación de los aspersores. Analizando la figura 4.5, se observa que las combinaciones donde se realiza algún movimiento sin importar el sentido, son las combinaciones 2 y 4, es allí donde se realiza la activación de estos elementos.

Dichos aspersores deben permanecer activos durante un periodo específico de acuerdo al tipo de vidrio a templar y al diseño previo. Para las funciones de automatización se debe activar el primer aspersor cuando el vidrio se encuentre en una cierta posición dentro de la banda y, en una posición sucesiva o previa, según el sentido en el que se encuentre la banda.

Cada activación de los aspersores surge después de comparar la posición actual del vidrio sobre la cápsula y los límites fijados en el sistema SCADA, de tal modo que dependiendo de cómo avanza o retrocede el vidrio en su traslado se efectúa la activación de los aspersores.



```
// SP1
L "Var MP". PosAct
L "Var MP". SP1
==I
= "Var MP". SetTimeSP1
// SP2
L "Var MP". PosAct
L "Var MP". SP2
==I
= "Var MP". SetTimeSP2
// SP3
L "Var MP". PosAct
L "Var MP". SP3
==I
= "Var MP". SetTimeSP3
// SP4
L "Var MP". PosAct
L "Var MP". SP4
==I
= "Var MP". SetTimeSP4
```

Figura 4.9 Activación de aspersores por medio de comparación de posiciones.

Para programar el tiempo que deben permanecer activos los aspersores se utilizan diferentes temporizadores donde sólo se determina el intervalo de tiempo que permanecerá activo y la señal con la que se arrancará el conteo de tiempo, que como se dijo anteriormente, es por medio de una cierta posición del vidrio dentro de la mesa. En este caso se utilizaron temporizadores de pulso extendido, temporizadores que comienzan a contar con un flanco positivo en la entrada y que se mantiene activo durante el tiempo especificado sin la necesidad de mantener la señal de entrada.

Segm. 3 : Título:

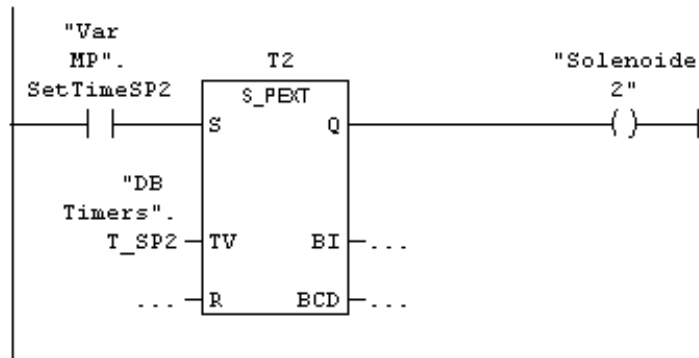


Figura 4.10 Temporizador para cada aspersor.

4.2.3 Control de las demás mesas.

Como se definió al inicio de este capítulo, la mesa principal va a determinar el accionamiento tanto de las mesas que tiene a su alrededor como de otras funciones que se activarán de acuerdo a la posición del vidrio sobre la banda, lo cual prepara a los demás elementos para hacer una correcta sincronización de las bandas por las que pasará el vidrio durante todo el proceso.

Cuando el vidrio se encuentra dentro de la Combinación 3, donde se determina si se continúa con el movimiento oscilatorio o se va a realizar un traslado, la mesa de entrada funciona de dos maneras.

La primera es cuando la mesa principal está en la última reversa y activa una señal que hace que el vidrio se acerque a la entrada de la cápsula de calentamiento. La segunda es cuando las reversas son iguales a cero, en ese momento se activa una señal para que la mesa de entrada traslade el vidrio a la mesa principal.

```

//Restantes = 1
SIG1: L   "Var MP".AuxRev
      L   1
      <>I
      JC   SIG2

      SET
      S   "Variables Mesa Entrada".LastPass
      S   "Var MP".Pre_Quench

//Restantes = 0
      L   "Var MP".AuxRev
      L   0
      <>I
      JC   SIG1
      L   0
      T   "Var MP".PosAct
      SET
      S   "Var MP".IndexF
      S   "Variables Mesa Entrada".ArrMotIndex

```

Figura 4.11 Función para sincronizar el movimiento del sistema de transporte.

Así mismo, cuando se está realizando el traslado del vidrio y éste se acerca a la posición final de la cápsula, se activa una señal que sirve para ejecutar el traslado del vidrio entre cada una de las mesas, es decir enviar el vidrio de la mesa principal a la mesa Quench y que a su vez el vidrio que se encuentra en la mesa Quench pase a la mesa de salida.

4.3 Mesa Quench.

En esta parte del proceso se realiza el enfriado del vidrio por medio de la presión que va a generar un motor de 600 HP a través de un ducto de ventilación, por lo que el proceso requiere que se mantenga al vidrio en constante oscilación, ya que si se mantiene fijo recibe la presión de aire en un solo punto y por el calentamiento previo se pueda estrellar o incluso romper. Esta mesa, al igual que la anterior, trabaja en modo manual a través de un botón pulsador (jog) y en modo automático por medio del control que realiza el PLC.

Como se definió en el apartado anterior, cuando el funcionamiento del sistema se encuentra en modo automático el accionamiento de la mesa se lleva a cabo por la activación de una señal dentro de las funciones de la mesa principal. Además de la mesa principal, se cuenta con otros elementos que determinarán el

funcionamiento de la mesa Quench, tal como lo es una función de enfriado inteligente que se explicará en el capítulo 7 Ahorro de energía. Al igual que la mesa principal, la mesa Quench controlará el funcionamiento de la mesa de salida para sacar al vidrio del proceso.

El movimiento de esta mesa es diferente a las demás, puesto que cada una de las bandas lleva una velocidad de línea que debe ser un porcentaje de la velocidad de la mesa principal y, en cambio, ésta debe llevar el máximo valor de velocidad durante todo el proceso en el cual el vidrio es transportado. Se tienen dos tipos de velocidad dentro de la mesa Quench, una velocidad para cuando el proceso requiere una mayor presión y otra para cuando requiere menor presión.

Todo este movimiento se determina a través de la oscilación del vidrio en ambos sentidos, aquí no se dispone de reversas para conocer el tiempo que debe de estar el vidrio dentro del Quench. Para que el vidrio salga del movimiento oscilatorio hay que esperar la acción que mande la mesa principal. Por consiguiente, el vidrio permanecerá en esta mesa hasta que se ordene una transferencia de vidrio por parte de la mesa principal, con esto el vidrio que se encuentre en la cápsula pasará al Quench y el que se encuentra en él será transferido a la mesa de salida.

4.3.1 Oscilación del vidrio.

En primer lugar se determina la velocidad con la que debe funcionar el variador de velocidad relacionado a la Mesa Quench, dependiendo de cada una de las oscilaciones se tiene una velocidad específica, en primer lugar es necesario determinar la velocidad con la que arranca la mesa, en este caso el movimiento se inicia cuando el vidrio termina su ciclo en la mesa principal y debe pasar a la siguiente mesa, cada mesa cuenta con una velocidad de índice para la transición de vidrio, la cual es un factor de la velocidad de la mesa principal.

En esta parte del proceso se realiza el enfriamiento del vidrio por lo que se presentan dos variaciones de presión llamadas presión de Quench y presión de Cooling. Dependiendo de la presión empleada la mesa debe moverse a velocidades diferentes. Cada una de estas velocidades se define en el sistema SCADA donde se ajusta la frecuencia mínima y máxima con la que gira el motor de 600 HP.

```

L      "Var MP".ITAG_V_Index
DTR
L      "Var MQ".SpeedPer_Real_MQ
*R
L      2.730667e+001
*R
L      1.000000e+001
*R
RND
T      "Var MQ".VL_Index

L      "Var MQ".ITAG_V_Quench
DTR
L      2.730667e+001
*R
L      1.000000e+001
*R
RND
T      "Var MQ".VL_Quench

L      "Var MQ".ITAG_V_Cooling
DTR
L      2.730667e+001
*R
L      1.000000e+001
*R
RND
T      "Var MQ".VL_Cooling

```

Figura 4.12 Obtención de velocidades a partir de la velocidad en la mesa principal.

La longitud de la mesa Quench es 3 veces menor que la mesa principal, por lo tanto el sentido en el que se desplaza el vidrio no necesariamente es el mismo, además el vidrio se puede encontrar en cualquiera de las velocidades de oscilación. De esta manera cuando la mesa principal indica el traspaso del vidrio a la siguiente etapa, la velocidad debe cambiar inmediatamente a la velocidad de índice y se debe ajustar el sentido de movimiento de la banda. Para ello, al variador de velocidad se le debe indicar, el sentido al cual va a girar y la frecuencia (Hz) con la que tiene que realizar dicho movimiento, por medio de la manipulación de dos valores de 16 bits dentro del controlador.

Para definir la oscilación se utiliza un diagrama similar al empleado en la oscilación de la mesa principal. Para conocer la velocidad que debe tomar el variador, se debe definir el movimiento de oscilación a través de diferentes combinaciones, con lo que en todo momento se sabe en qué parte del movimiento se encuentra el vidrio, esto ayuda a simplificar la programación para controlar el variador de velocidad.

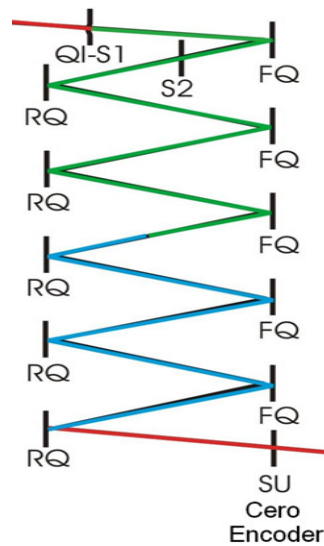


Figura 4.13 Diagrama de oscilaciones dependiendo de la presión requerida para el templado.

Como el movimiento es similar al que rige la mesa principal se definen también cuatro combinaciones con las que se cubre todo el movimiento, aquí se tienen como límites las señales RQ y FQ que se ajustan en el sistema SCADA; a la posición inicial del intervalo se le denomina RQ y a la posición final FQ. Entonces, para definir las combinaciones se tiene que hacer la comparación de la posición actual, determinada por el encoder, con cada uno de estos límites y además considerar el sentido en el que se encuentra girando el motor.

En la tabla 4.2 se observan las condiciones que se deben cumplir para acceder a cada una de las combinaciones.

Combinación	Dirección de movimiento del vidrio	Límite FQ	Límite RQ
1	Izquierda a derecha »»»»	Mayor o igual	-
2	Izquierda a derecha »»»»	Menor	-
3	Derecha a izquierda ««««	-	Menor o igual
4	Derecha a izquierda ««««	-	Mayor

Tabla 4.2 Condiciones para acceder a cada combinación de la mesa Quench.

```

// Lllamar combinacion 1
A(
L   "Var MQ".PosAct
L   "Var MQ".FQ
>=I
)
A   "Var MQ".DER_IZQ_MQ
=   "MQ_en_Comb_1"
CC  "MQ Comb 1"

// Lllamar combinacion 2
A(
L   "Var MQ".PosAct
L   "Var MQ".FQ
<I
)
A   "Var MQ".DER_IZQ_MQ
=   "MQ_en_Comb_2"
CC  "MQ Comb 2"

// Lllamar combinacion 3
A(
L   "Var MQ".PosAct
L   "Var MQ".RQ
<=I
)
AN  "Var MQ".DER_IZQ_MQ
=   "MQ_en_Comb_3"
CC  "MQ Comb 3"

// Lllamar combinacion 4
A(
L   "Var MQ".PosAct
L   "Var MQ".RQ
>I
)
AN  "Var MQ".DER_IZQ_MQ
=   "MQ_en_Comb_4"
CC  "MQ Comb 4"

```

Figura 4.14 Programación para acceder a las combinaciones.

Después de elegir cada una de las combinaciones se debe definir el funcionamiento de cada una de ellas. Para conocer el estado de cada una de las combinaciones se utiliza el siguiente diagrama.

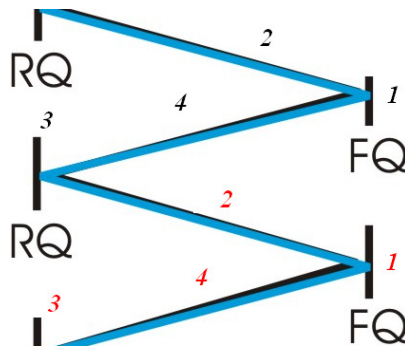


Figura 4.15 Estado o combinación en cualquier punto de la oscilación.

La primera combinación a analizar es la Combinación 2, puesto que es la primera que se presenta cuando el vidrio es transportado hacia el Quench. En esta etapa, el motor se encuentra girando de izquierda a derecha y se debe realizar siempre que la posición actual no sea mayor que FQ, cuando se realiza este movimiento debido a la transición del vidrio se incrementa el encoder dentro de esta función y además se prepara la mesa de salida para recibir el vidrio y sacarlo del proceso. De lo contrario, si no se realiza el traslado del vidrio sólo se incrementa el encoder para aumentar la posición actual.

Para activar la mesa de salida se fija una posición en el SCADA de la mesa Quench, que sólo es alcanzada durante la transición del vidrio de la mesa principal al Quench, cuando la posición actual es igual a la posición definida en el SCADA se realiza la activación del movimiento de la mesa de salida.

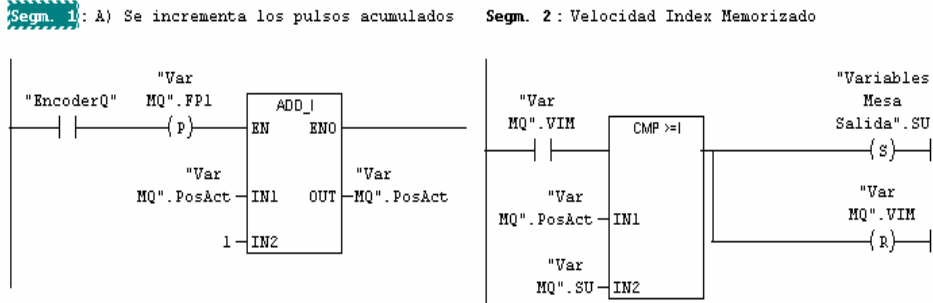


Figura 4.16 Incremento de la posición actual y activación de la mesa de salida.

Cuando el movimiento abandona la Combinación 2 y no hay transición de vidrio sólo se tiene que invertir el sentido del giro para continuar la oscilación y además hacer el incremento del encoder para conocer la posición actual, se sigue incrementando el encoder porque físicamente no se puede detener el motor inmediatamente y comenzar a girar en sentido contrario. Una vez terminada esta acción se inicia el decremento del encoder indicado en la combinación 4, en la cual se sabe que el motor gira ya de derecha a izquierda, el movimiento continúa de esta manera hasta que la posición actual es menor o igual a RQ. Finalmente, cuando el vidrio se encuentra dentro de la Combinación 3 donde se continúa el decremento del encoder y se invierte el sentido del giro para ir nuevamente de izquierda a derecha.

Todas estas combinaciones se mantienen a lo largo de la permanencia del vidrio dentro del Quench no importando si se encuentra en la presión de Quench o de Cooling, y hasta que la mesa principal indique el traslado del vidrio a la mesa siguiente.

4.4 Mesa de entrada.

La Mesa de entrada es por donde comienza todo el proceso del templado de vidrio, aquí el operador coloca el vidrio manualmente y este se introduce al proceso, el movimiento de esta mesa está a disposición de lo que le indique la

mesa principal. Tiene dos tipos diferentes de movimiento, uno que prepara al vidrio para entrar al proceso y otro que hace la transición a la siguiente mesa. Estos dos movimientos se realizan a diferentes velocidades y son ajustadas en el sistema SCADA. La velocidad de pre-posición sirve para acercar el vidrio a la siguiente mesa, la velocidad de índice es un porcentaje de la velocidad de índice de la mesa principal.

Para realizar dichos movimientos se le debe dar la instrucción al variador de velocidad para que el motor gire a cierta frecuencia y en determinado momento se detenga nuevamente, en esta mesa el sentido del giro sólo se da en una sola dirección.

El movimiento que prepara al vidrio para entrar al proceso es activado en la última reversa de la oscilación de la mesa principal como se observó en apartados anteriores. Para que el movimiento se detenga en algún momento se define una posición dentro de la mesa llamada pre-posición, para que cuando la posición actual sea igual a la pre-posición el motor detenga su movimiento. Otra forma de detener este movimiento es un botón de paro de emergencia que al presionarlo levanta el vidrio de los rodillos para evitar que se mueva.

Segm. 2 : Arranca motor a velocidad PP

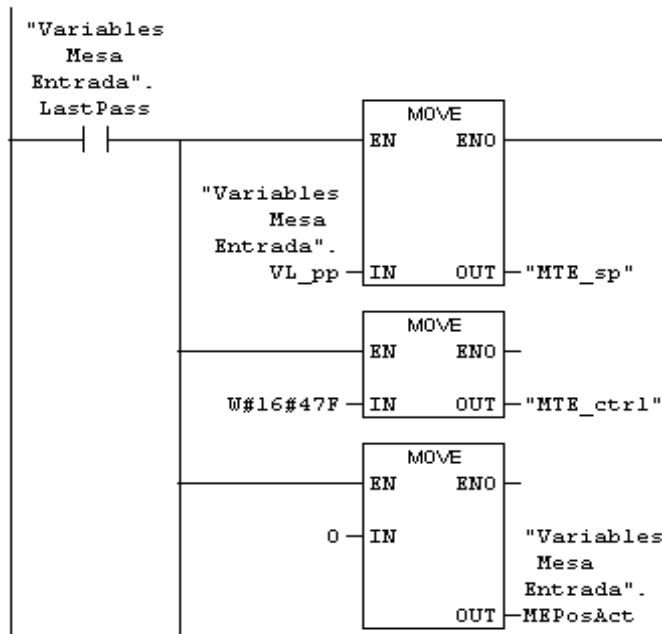


Figura 4.17 Activación del motor con la velocidad de preposición.

Cuando la mesa principal indica el traslado de vidrio, la mesa de entrada inicia el movimiento con la velocidad de índice durante un determinado tiempo y posteriormente se reestablece el valor de la posición actual para poder tener de nuevo la posibilidad del movimiento de preposición para el siguiente vidrio.

4.5 Mesa de salida.

El movimiento de la mesa de salida es el más sencillo de todos porque se realiza en una sola dirección y a una misma velocidad. La velocidad que define este movimiento es una fracción de la velocidad de índice de la mesa principal. En cuanto la mesa Quench indica que se realizará el traslado del vidrio a la parte final del proceso, se activa la mesa de salida con una velocidad de índice.

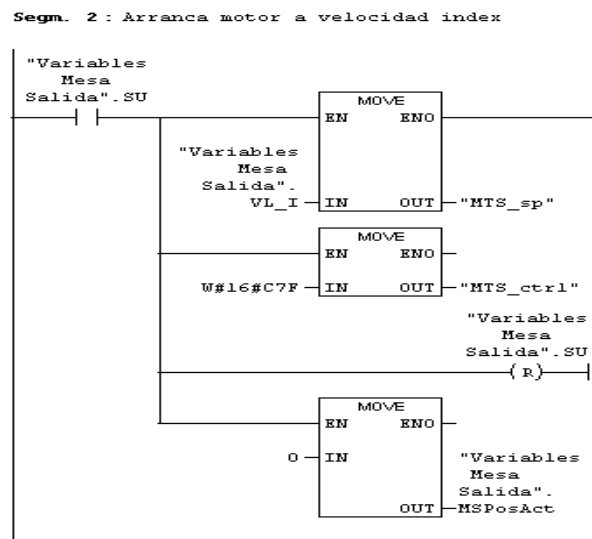


Figura 4.18 Inicio de movimiento de la banda de salida.

En esta mesa se cuenta también con una posición definida para detener el movimiento, por lo que cuando el incremento del encoder indica que se ha alcanzado este punto se activa la acción que reestablece la posición actual y detiene el movimiento del vidrio dentro de la mesa, para que el operador saque al vidrio ya templado del proceso.

Segm. 3 : Para Motor

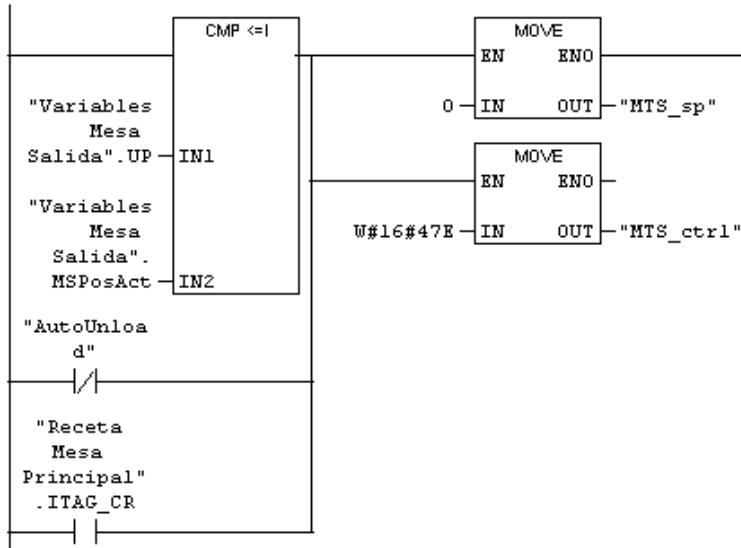


Figura 4.19 Función para detener el movimiento de la banda comparando la posición con un límite definido.

Si no se restableciera la posición actual, la banda quedaría girando y provocaría que el vidrio cayera de la mesa. Para llevar a cabo el templado del vidrio se requiere de dos operadores, uno colocado al inicio y otro al final del proceso, tanto para introducir el vidrio como para retirarlo ya templado.

5. Automatización del Quench.

El Quench es la parte del proceso encargada del enfriamiento del vidrio procedente de la cápsula de calentamiento, en este punto el vidrio se debe someter a diferentes presiones para que el templado se efectúe. La presión que se ejerce sobre el vidrio es generado a través de un ducto de aire conectado a un motor de 600 HP. Dependiendo del tipo de vidrio es la variación de presión requerida, por lo que el variador de velocidad se debe ajustar a diferentes frecuencias.

Adicionalmente el Quench da la forma a la curvatura que debe llevar el vidrio por lo que tiene diversas partes mecánicas que permiten que el vidrio oscile de diferentes formas sobre la banda. Físicamente un motor no puede pasar de un giro de frecuencia baja a frecuencia alta de manera inmediata; si se le indica al variador de velocidad que vaya de una frecuencia mínima (0 Hz) a una frecuencia máxima (60 Hz) en un tiempo mínimo, el consumo de energía requerido sería demasiado alto e impactaría sobre los costos de producción.



Figura 5.1 Sistema de ventilación y Quench.

Para lograr el templado del vidrio se requiere que los cambios bruscos en la presión se realicen de forma uniforme en ambas caras del vidrio, para conseguir esto el variador de velocidad debe controlar la velocidad a la que gira el motor. Para llevar a cabo una aceleración o desaceleración uniforme en el variador de

velocidad se deben generar rampas, las cuales además de controlar los cambios de frecuencia, evitan los picos de corriente que se pudieran generar en el caso de hacer arranques y paros directos sobre el motor.

Las partes mecánicas con las que cuenta el Quench se ajustan de acuerdo al tipo de vidrio que se tiene que templar, a través del sistema SCADA se indica el tipo de vidrio que se debe templar, grueso o delgado, con lo que el Quench acomoda automáticamente todos sus elementos mecánicos. Por lo tanto este capítulo describe las funciones de control necesarias para cumplir éstos requerimientos.

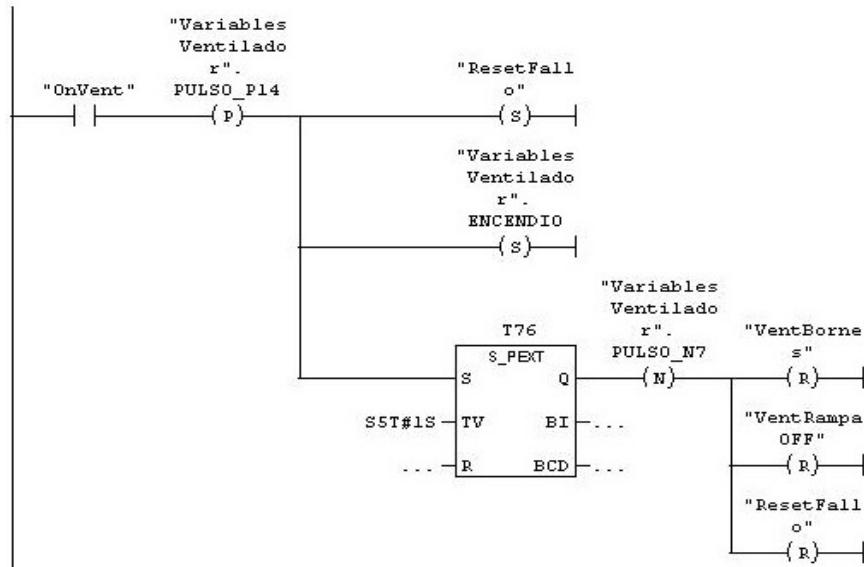
5.1 Comunicación con un variador de velocidad Schneider.

El variador de velocidad que regula los cambios de frecuencia y el sentido de giro del motor es un modelo Altivar 71 de Schneider, el cual fue descrito en el capítulo 3. La configuración para la puesta en marcha del variador se realiza a través de una parametrización similar a la utilizada con el Micromaster 440 de Siemens, este variador también se encuentra asociado a la red Profibus para su control desde el PLC. A través de una pantalla se realizan los ajustes necesarios como: frecuencia nominal del motor, tensión nominal del motor, corriente nominal del motor, potencia nominal del motor, el ajuste de la dirección Profibus necesaria para la comunicación, entre otros parámetros. Dichos parámetros fueron descritos en el capítulo 3 para el variador de velocidad Micromaster 440 y al igual que ese variador el control se ejecuta a través de dos palabras de control: sentido de giro y frecuencia de giro.

Uno de los parámetros que es de mayor relevancia, es la rampa de desaceleración que se le programa al variador para que, cuando se apague el sistema, el frenado del motor se efectúe con una rampa de manera lenta para ahorrar energía. El tablero principal cuenta con botones para arrancar y detener el sistema de enfriamiento, estos botones habilitan el tipo de comportamiento que debe presentar el variador de velocidad.

Cuando se presiona el botón de encendido del sistema, el controlador envía una señal al variador para que éste funcione como un esclavo de la red Profibus y el PLC controla la frecuencia con la que debe girar. Este procedimiento se lleva a cabo cada inicio de turno, como el operador tarda un poco en alistarse para trabajar, el controlador le indica al variador que aumente la frecuencia de forma muy lenta hasta obtener una velocidad media (30 Hz).

Segm. 1: Boton de Encendido Ventilador Cambiar Bornes a Profibus DP



Segm. 6: Cambiar Profibus DP a Bornes

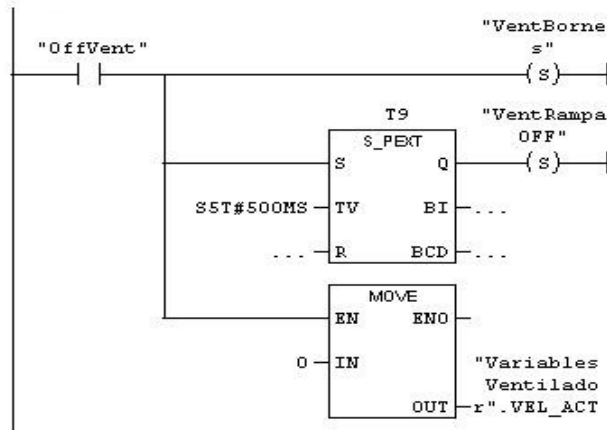


Figura 5.2 Funciones de encendido y apagado del sistema de enfriamiento.

Al presionar el botón de apagado, el PLC le cede al variador de velocidad el control del motor, al hacer esto el variador ejecuta la rampa de desaceleración con la cual se detiene el motor en un tiempo muy largo (30 s) para ahorrar energía.

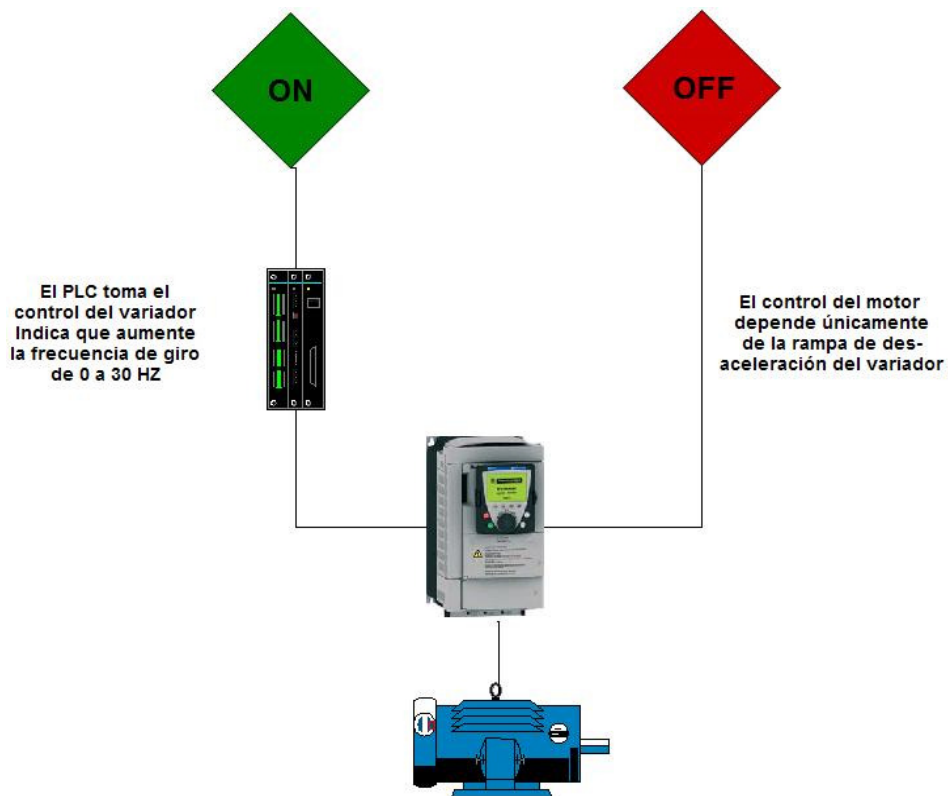


Figura 5.3 Funcionamiento del variador dependiendo del estado elegido.

5.2 Automatización del sistema de enfriado.

El proceso que necesita ser ejecutado para el enfriamiento del vidrio consta de diferentes pasos: en primer lugar, y como se acotó en el capítulo anterior, el vidrio debe estar oscilando para evitar que se llegue a estrellar con la presión recibida por parte del Quench. Para poder ejecutar el enfriamiento se consideran los diagramas de la figura 5.4 y la figura 5.5, con ellos se definen los posibles estados que puede presentar el sistema de enfriado.

Analizando una máquina instalada anteriormente, y sobre la cual se basa la mayor parte del control de este horno de templado, se requiere hacer el templado de dos tipos diferentes de vidrio: grueso y delgado; es por eso que se consideran dos opciones de templado a realizar. Las opciones presentan cuatro

estados generales, en cada uno de ellos se debe considerar un tiempo de trabajo, una vez terminado éste se cambia al siguiente estado.

Para un vidrio delgado lo primero que sucede cuando el vidrio entra a la mesa Quench es esperar un tiempo antes de que la presión aumente a un nivel máximo, el cual se identifica como Delay. Una vez transcurrido el tiempo de espera se le indica al variador de velocidad que aumente su frecuencia en el menor tiempo posible, con lo que le imprime una mayor presión al vidrio y se debe conservar la presión máxima, Presión de Quench, durante un tiempo definido para realizar un mejor templado. Pasado este tiempo se debe disminuir la presión ejercida por el ducto de ventilación, Presión de Cooling, para finalmente realizar el traslado del vidrio a la mesa de salida y esperar que llegue un nuevo vidrio al Quench para realizar nuevamente el ciclo anterior.

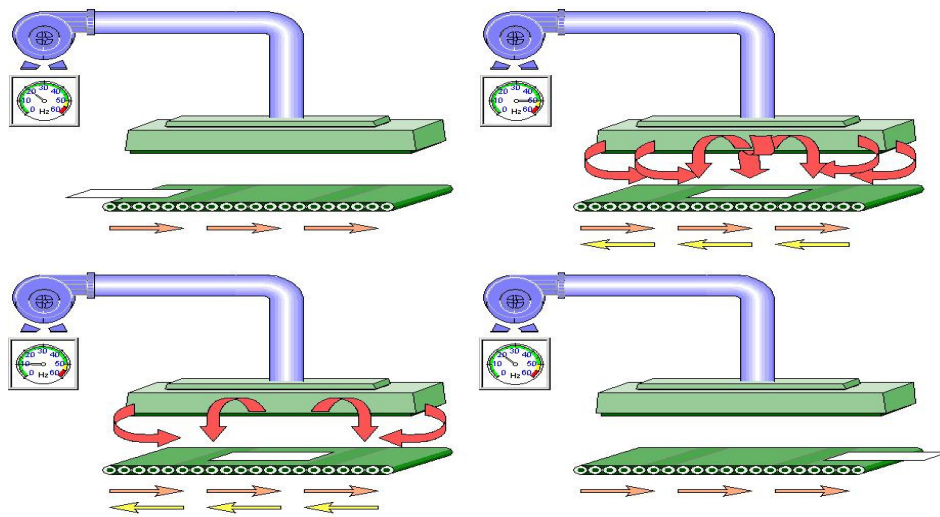


Figura 5.4 Sistema de enfriado para un vidrio delgado.

La etapa diseñada para un vidrio grueso presenta una secuencia de estados similar a la anterior. En primer lugar llega el vidrio al Quench procedente de la mesa principal y antes de generarse la presión correspondiente espera un pequeño tiempo considerado también como Delay. A diferencia de la secuencia anterior, se comienza con una presión baja, Presión de Cooling, durante un tiempo y posteriormente la presión aumenta gradualmente hasta llegar a la Presión de Quench, donde permanece hasta que el vidrio se traslada de la mesa Quench a la mesa de salida.

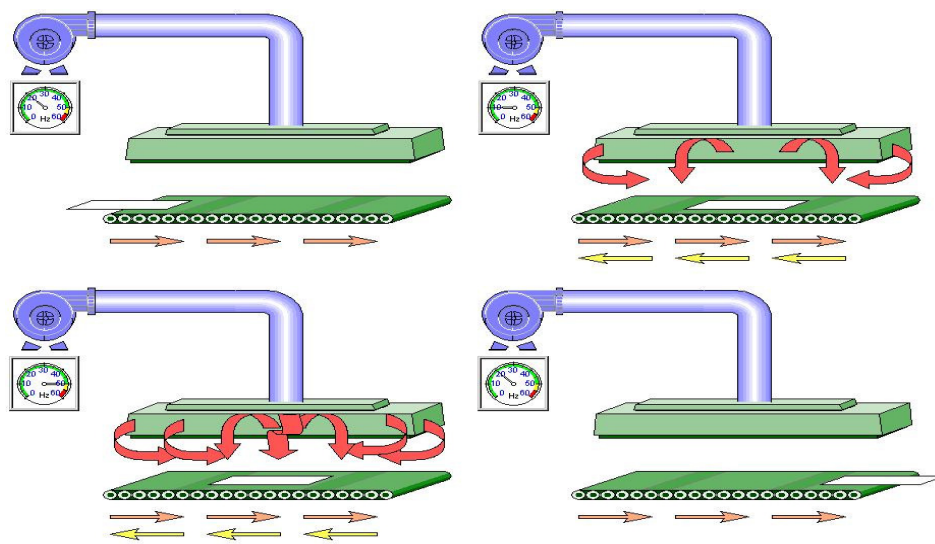


Figura 5.5 Sistema de enfriado para un vidrio grueso.

Para poder realizar los cambios de presión se deben generar diferentes rampas que se activan en determinados momentos, para ello se diseñó el siguiente diagrama, considerando lo observado en las dos figuras anteriores.

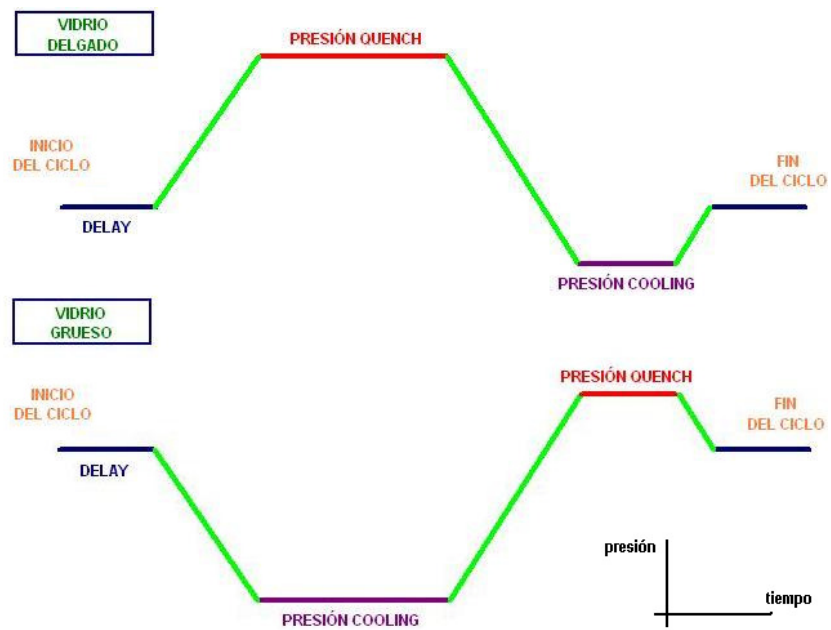


Figura 5.6 Rampas lineales para el templado de vidrio grueso o delgado.

5.3. Rampas para manejar la presión.

Para programar las diferentes rampas del sistema de enfriamiento es necesario basarse en el diagrama de la figura 5.6, éste sufre modificaciones conforme se avanza en el proyecto al observar que al presentarse el cambio entre las presiones de Cooling y de Quench se genera un alto consumo de energía, debido a la pendiente lineal que se considera.

Tomando en cuenta que no se debe incrementar la frecuencia a la que gira el motor de forma rápida, puesto que consume mucha energía y el costo de la producción se eleva, la aceleración o desaceleración se debe de hacer de forma gradual. Con esto se define que se deben efectuar incrementos o decrementos graduales durante un tiempo determinado. Así, en vez de tener una gráfica que indique los avances con línea recta se obtiene una gráfica escalonada como en la figura 5.7.

Puesto que el variador controla un motor bastante potente, el controlador, por medio de su programa, debe asegurarse que al efectuar las rampas correspondientes para el templado no se sobrepase la frecuencia máxima permitida (60 Hz) para evitar una sobrecarga en el variador y por ende en el motor, que les pudiera ocasionar problemas a dichos equipos.

Para poder efectuar estos incrementos o decrementos se llevan a cabo sumatorias, positivas o negativas, durante un intervalo de tiempo delimitado. La aplicación requiere que se utilicen incrementos cada segundo, el tiempo de subida o de bajada (aceleración o desaceleración) es determinado por medio del sistema SCADA en relación con el vidrio que se va a temprar. Con los datos de funcionamiento otorgados por el operador se necesita calcular la pendiente que se debe manejar para saber exactamente de cuantos Hz va a ser el incremento o decremento de la frecuencia.

El controlador utilizado cuenta con bloques de función (alarmas cíclicas) que se ejecutan cada cierto tiempo, en las que se puede definir el periodo necesario en la configuración del equipo. Esto permite definir una función para que se ejecute cada segundo donde se programan los incrementos o decrementos a través de sumatorias durante un periodo definido.

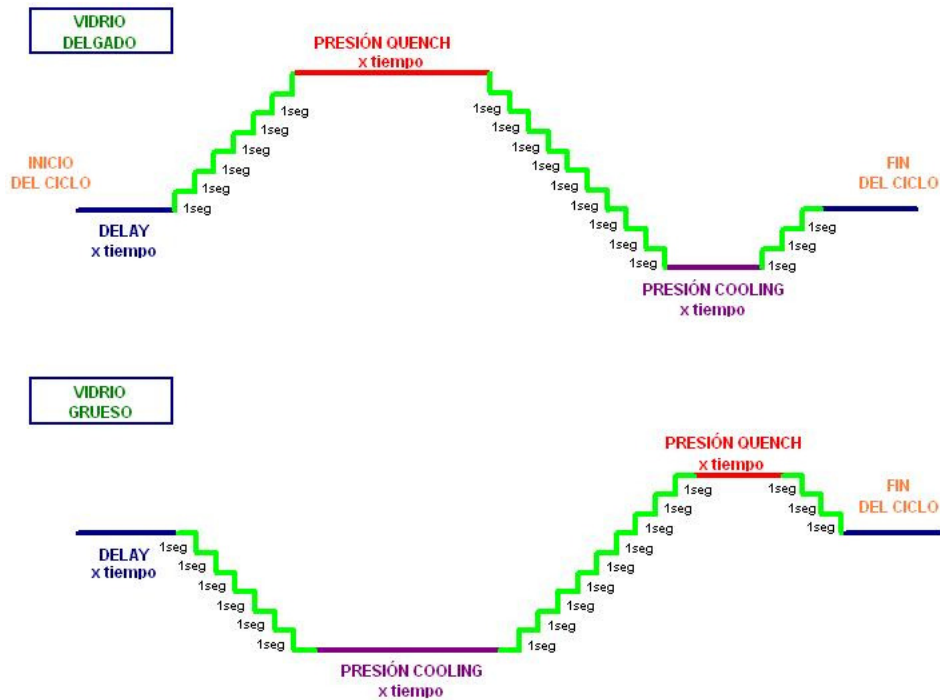


Figura 5.7 Rampas escalonadas para el templado de vidrio grueso o delgado.

Para hacer el ciclo completo de un vidrio delgado, cuando el vidrio pasa de la mesa principal a la mesa Quench se debe esperar un tiempo de Delay antes de comenzar con la variación de la presión. Una vez que termina este tiempo el variador de velocidad comienza a efectuar el incremento de la presión de manera gradual. Una vez alcanzada la Presión Quench debe permanecer otro intervalo de tiempo en esa presión y, posteriormente, el variador comienza a realizar el decremento de la presión hasta llegar a la Presión de Cooling, donde el vidrio espera un tiempo antes de continuar su trayecto hacia la mesa de salida.

En el caso del ciclo de un vidrio grueso, cuando el vidrio pasa de la mesa principal a la mesa Quench se debe esperar un tiempo de Delay antes de comenzar con la variación de la presión, una vez que termina este tiempo el variador de velocidad comienza a realizar el decremento de la presión de manera gradual, una vez alcanzada la Presión Cooling debe permanecer otro intervalo de tiempo en esa presión y posteriormente el variador comienza a realizar el incremento de la presión hasta llegar a la Presión de Quench donde permanece un tiempo antes de continuar su trayecto hacia la mesa de salida.

El activado de cada ciclo de rampas depende de la mesa principal, cuando ésta realiza un traslado hacia el Quench y pasa por una posición específica de la mesa se activa una señal (SA) la que permite el inicio del ciclo de enfriado del vidrio. Por lo tanto, cada que se activa esta señal comienza un nuevo ciclo como el descrito en las gráficas anteriores. Esta señal se activa cuando la posición del vidrio, determinada por el encoder del motor, es igual a una posición al final de la mesa principal establecida por los especialistas del proceso; esta posición final puede ser modificada desde el sistema SCADA.

Cuando la señal SA se activa comienza a ejecutarse el tiempo de espera (Delay). Una vez transcurrido este tiempo, el cual depende del tipo de vidrio que se va a templar, se activa una señal que permite realizar el incremento o decremento de la presión (rampa) durante un periodo definido. Terminado el tiempo, la presión se mantiene constante durante otro periodo definido (presión de Cooling o Quench dependiendo del vidrio) y finalmente comienza la variación de presión con el mismo tiempo que la rampa anterior. De este modo se deben emplear diferentes temporizadores que permiten hacer las funciones descritas. Puede concluirse que se trabaja con temporizadores en cascada puesto que terminando cada uno su tiempo de ejecución comienza el siguiente.

De esta forma el ciclo completo queda de la siguiente manera, considerando que el sistema de ventilación ya fue encendido y que se activa la señal correspondiente en la Mesa Principal para que comience el ciclo.

El primer paso que se hace en el ciclo, sin importar el tipo de vidrio que se esté templando, es esperar un cierto tiempo antes de comenzar a modificar la presión. Existen dos posibilidades de este tiempo de espera, una es que el operador decida no esperar y la otra es que defina un tiempo. En este paso generalmente el variador indica una velocidad media por cuestiones de ahorro de energía, de tal modo que si necesita ir a una velocidad máxima o mínima no tiene que realizar un cambio tan brusco. Esta velocidad media es primordial ya que representa menor consumo de energía ir de 30 a 60 Hz o de 30 a 5 Hz, que ir desde 5 a 60 Hz o viceversa.

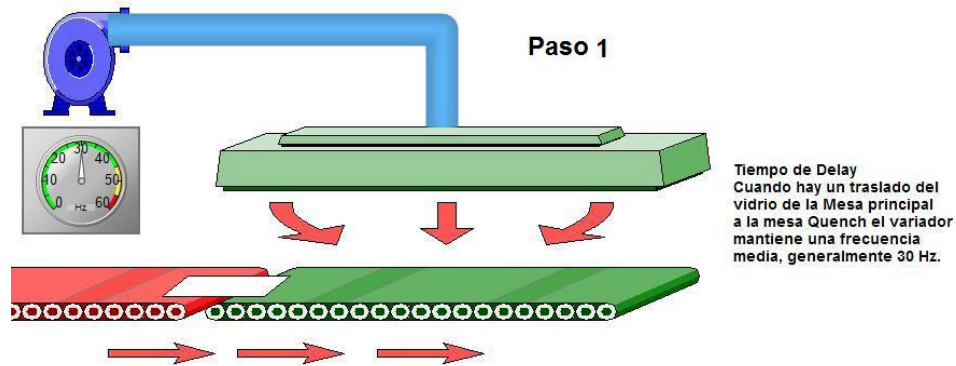


Figura 5.8 Funcionamiento del tiempo de Delay.

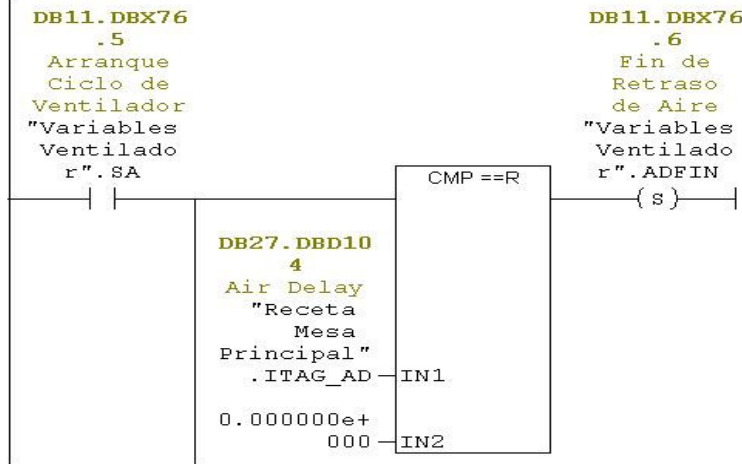
Cuando el operador prefiere no definir un tiempo de espera el controlador revisa que la señal que indica el comienzo del ciclo (SA) esté activa, luego compara la variable de Delay con cero y si son iguales activa la señal correspondiente para proseguir con el accionamiento del siguiente temporizador encargado de incrementar o decrementar la presión según el vidrio a templar. En caso contrario, cuando el operador define un tiempo, el controlador después de revisar la señal SA arranca un temporizador de pulso extendido y una vez alcanzado el tiempo definido activa la señal para accionar el siguiente temporizador.

El temporizador de pulso extendido se activa con un pulso positivo y permanece activo durante todo el tiempo definido y se desactiva una vez transcurrido el tiempo, cuando esto sucede se genera un flanco negativo (el estado de la salida del temporizador cambia de 1 a 0), lo que provoca que se active la señal correspondiente para continuar con el ciclo.

Una vez que se termina el tiempo de Delay se efectúa la modificación de la presión, los siguientes pasos dependen del tipo de vidrio que se requiere templar.

Para templar un vidrio delgado una vez terminado el tiempo de espera comienza la variación de la presión sobre el vidrio, por lo que el controlador le indica al variador de velocidad que aumente la frecuencia hasta alcanzar valores entre 45 y 60 Hz. Al alcanzar la frecuencia deseada se debe mantener esa velocidad un cierto tiempo mientras el vidrio continúa oscilando y al concluir este tiempo comienza un descenso de la velocidad hasta llegar a frecuencias entre 5 y 15 Hz. Luego se espera un pequeño tiempo en esta presión antes de trasladar el vidrio a la mesa de salida.

Opción 1
No se define un tiempo de espera



Opción 2
Existe un tiempo de espera

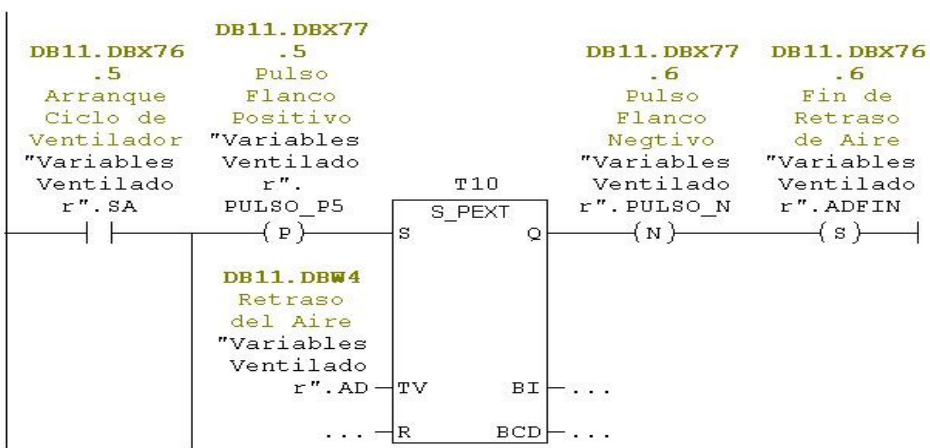


Figura 5.9 Opciones para el tiempo de Delay.

En cuanto el vidrio comienza su traslado a la mesa de salida el controlador prepara al variador para el siguiente ciclo por lo que le indica que tome una frecuencia media, alrededor de 30 Hz. Esto se hace para evitar que al tener que ir nuevamente a una frecuencia máxima se tenga un gran consumo de energía, ya que permite que la rampa se haga con incrementos más cortos.

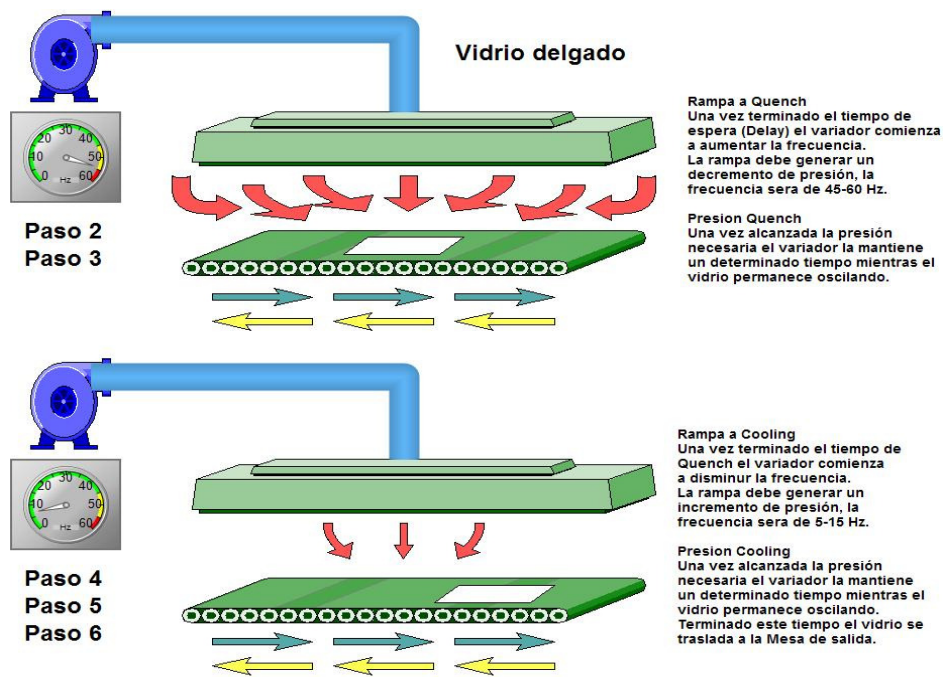


Figura 5.10 Rampas para el templado de vidrio delgado.

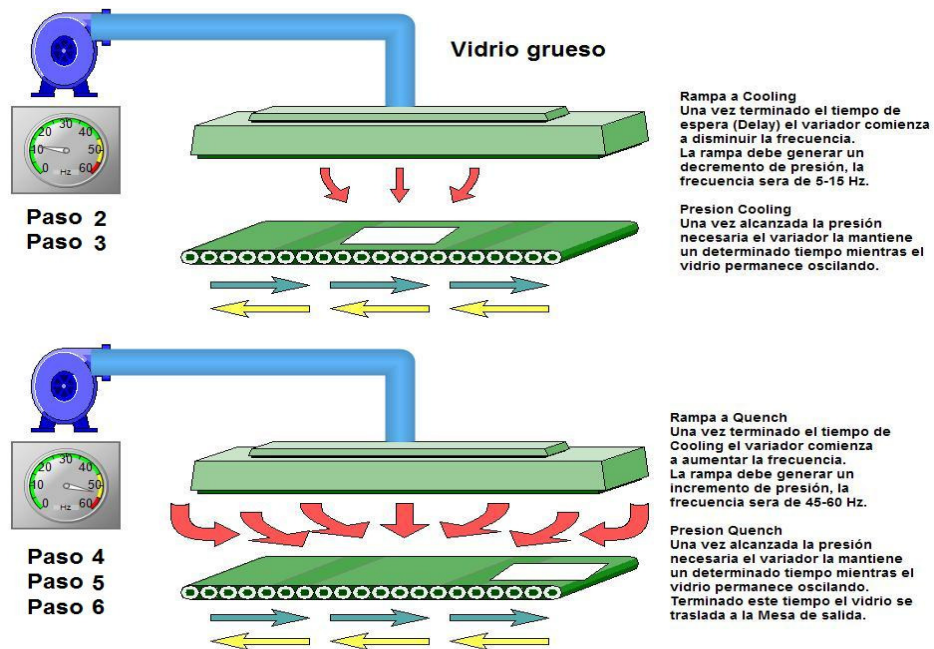


Figura 5.11 Rampas para el templado de vidrio grueso.

Para templar un vidrio grueso se sigue una secuencia similar a la del vidrio delgado. En primer lugar, una vez terminado el tiempo de espera, comienza la variación de la presión sobre el vidrio. El variador de velocidad debe disminuir la frecuencia hasta alcanzar valores entre 5 y 15 Hz, al alcanzar la frecuencia deseada se debe mantener esa velocidad un cierto tiempo mientras el vidrio continúa oscilando, y al concluir este tiempo comienza un aumento de la velocidad hasta llegar a frecuencias entre 45 y 60 Hz. Luego se espera un pequeño tiempo en esta presión antes de trasladar al vidrio a la mesa de salida.

Se utiliza una serie de temporizadores para llevar a cabo las funciones anteriores. Al terminar el tiempo de Delay se activa una señal que permite iniciar otro temporizador que indica durante cuánto tiempo se deben hacer los incrementos de la frecuencia del variador, estos incrementos se realizan mediante sumatorias que se efectúan cada segundo.

Una vez transcurrido el tiempo de incremento se activa un siguiente temporizador, al finalizar el tiempo en la máxima frecuencia se inicia un tercer temporizador para verificar el tiempo para el decremento de la presión. Al igual que en los incrementos, el decremento se efectúa con sumatorias negativas. Una vez alcanzada la frecuencia requerida comienza el traslado del vidrio hacia la mesa de salida y nuevamente se hace un incremento de la frecuencia del variador.

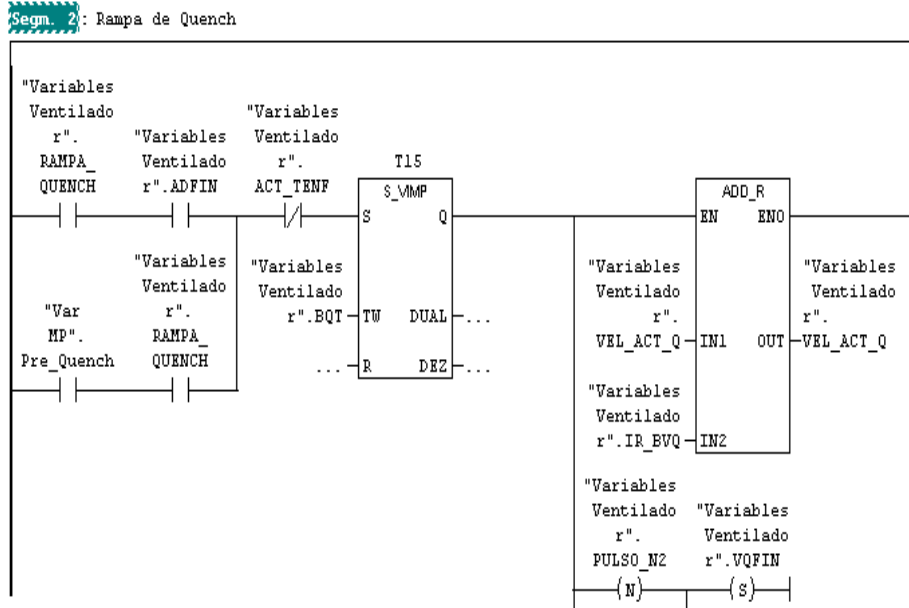


Figura 5.12 Incrementos o decrementos cada segundo.

El controlador realiza una función para conocer la pendiente requerida, dicha función da como resultado un valor positivo para el incremento y un valor negativo para el decremento, por lo que se puede emplear una misma función con un bloque de sumatoria para ambos casos, al tener valores positivos y negativos en los sumandos se puede tener el incremento y decremento requerido.

Para conocer cuál debe ser el incremento y decremento en cada caso se realiza el cálculo de la pendiente. Para ello se cuenta con una par de variables, la primera es el tiempo necesario para alcanzar la frecuencia requerida, la otra variable es la frecuencia máxima y mínima que se debe tener dependiendo del tipo de vidrio a templar.

Con estos valores y el conocimiento de que los cambios en las frecuencias deben ser cada segundo se calcula el valor necesario para aumentar o disminuir la presión en el sistema de enfriamiento. Por lo tanto, la pendiente (I/D) es igual a la diferencia entre la frecuencia requerida (Fr) y la frecuencia actual (Fa), entre el tiempo necesario para ahorrar energía (T, es decir, que no se generen picos de corriente al tratar de llegar lo más rápido posible a la meta).

Por ejemplo, si se define que el tiempo necesario para cada pendiente es de 20 s, y el operador decide que el valor mínimo es 5 Hz y el valor máximo es 45 Hz y se considera que se deba templar un vidrio grueso, la pendiente para el incremento y decremento se muestra a continuación, asumiendo que la frecuencia inicial es de 30 Hz como se anotó anteriormente.

$I/D = (Fr - Fa) / T$	$I/D = (5 - 30) / 20$ $= -1.25 \text{ Hz}$	$I/D = -25 / 20$
$I/D = (Fr - Fa) / T$	$I/D = (45 - 5) / 20$ $= 2.0 \text{ Hz}$	$I/D = +40 / 20$
$I/D = (Fr - Fa) / T$	$I/D = (30 - 45) / 10$ $= -1.5 \text{ Hz}$	$I/D = -15 / 10$

Como se requiere templar un vidrio grueso, en primer lugar se lleva al variador a la frecuencia mínima (5 Hz), por lo que el controlador le indica al variador que cada 1 s disminuya 1.25 Hz durante 20 s. Posteriormente se mantiene un tiempo en esta frecuencia y terminado el tiempo comienza con un incremento para alcanzar la frecuencia máxima (45 Hz). En este caso el controlador determina que por cada 1 s se aumente la frecuencia en 2 Hz durante 20 s, alcanzado este valor el variador lo mantiene un tiempo corto.

Finalmente, el vidrio comienza su traslado a la mesa de salida y el variador regresa a una frecuencia media (30 Hz) a razón de 1.5 Hz por cada 1 s. El tiempo para regresar al estado inicial debe ser más corto porque el tiempo de traslado entre las mesas no es muy largo y al no haber mucha diferencia entre la frecuencia actual y la frecuencia media, no se generan picos de corriente.

```

Segm. 5: Calcular la Pendiente de Pre-Quench
L      "Variables Ventilador".VQ      DB11.DBW10
L      "Variables Ventilador".VC      DB11.DBW12
>=I
SPBN  ET1
L      "Variables Ventilador".VEL_PQ_QC  DB11.DBW62
DTR
L      "Variables Ventilador".VEL_ACT_PQ1  DB11.DBD68
-R
L      "Receta Mesa Principal".ITAG_SQT  DB27.DBD140
/R
L      1.000000e+001
/R
T      "Variables Ventilador".PQ_BVQ      DB11.DBD52
SPA  FIN
ET1:  L      "Variables Ventilador".VEL_PQ_CQ  DB11.DBW64
DTR
L      "Variables Ventilador".VEL_ACT_PQ1  DB11.DBD68
-R
L      "Receta Mesa Principal".ITAG_SQT  DB27.DBD140
/R
L      1.000000e+001
/R
T      "Variables Ventilador".PQ_BVQ      DB11.DBD52
FIN:  NOP  0

```

Figura 5.13 Función para calcular la pendiente de las variaciones de la frecuencia.
Función programada en formato lista de instrucciones.

En la figura 5.14 se observan los estados que tiene el Quench para el enfriamiento de un vidrio delgado, considerando los valores que se ajustan en el sistema SCADA del ejemplo anterior.

Estados del Quench para un vidrio delgado

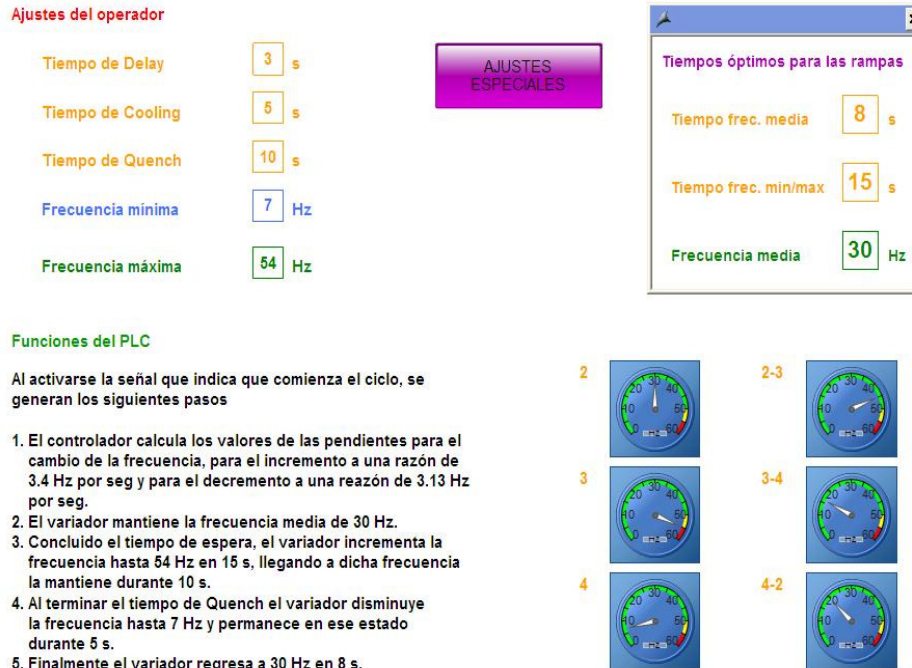


Figura 5.14 Estados del Quench para el enfriamiento de un vidrio delgado.

5.4 Posición de las partes mecánicas del Quench.

El proceso requiere además del templado de vidrio grueso y delgado, la posibilidad de templar vidrio plano o curvo, por ejemplo para generar un vidrio de seguridad para el parabrisas de un camión, por lo que el Quench debe incorporar el control de la posición de sus partes mecánicas para adecuarse a la necesidad del proceso.

El Quench está formado por distintos elementos mecánicos que le permiten adaptarse a la forma del vidrio que se requiere templar, dichos elementos son denominados: Y, ala superior, ala inferior, cabecera y *conveyor* (transportador). Estos elementos son mostrados en la figura 5.15.

Tanto las alas superiores como inferiores permiten darle la curvatura deseada al vidrio a templar, ya que hacen que las ventilas del *conveyor* y las ventilas de la

cabecera cambien su posición. Las alas inferiores son las que se encuentran en el *conveyor* y las alas superiores se encuentran en la cabecera.

Por otro lado existe un movimiento vertical sobre la cabecera y el *conveyor* que permiten acercar o alejar estos elementos de la banda sobre la que se transporta el vidrio. Finalmente, la Y sirve para regular el paso del aire a través del sistema de ventilación.

En el sistema SCADA utilizando la base de datos se definen distintas recetas en las cuales se almacenan las distintas posiciones que debe tomar el Quench de acuerdo a las formas del vidrio que se deban templar en este horno.

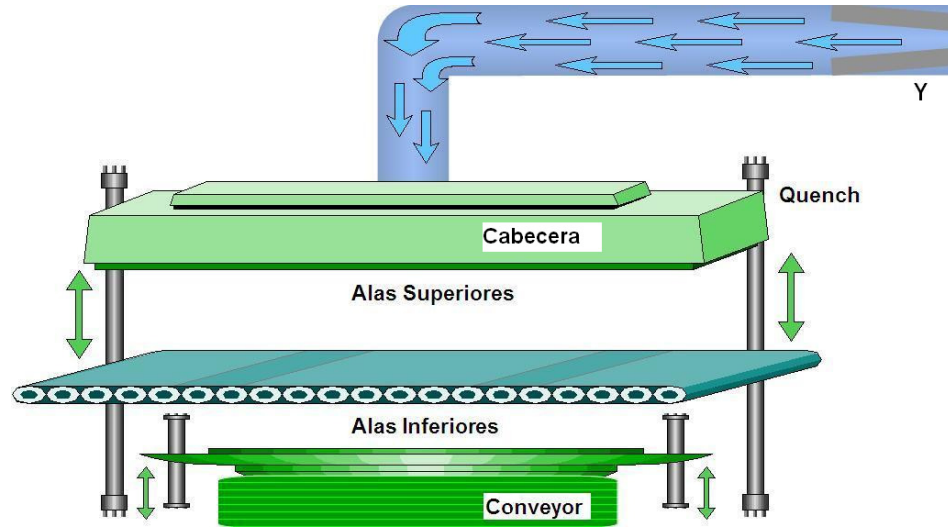


Figura 5.15 Partes mecánicas del Quench.

Una receta es una tabla que contiene información sobre un producto en específico, contiene la relación que debe existir entre los insumos necesarios para un producto y las cantidades de cada insumo que se necesitan para poder obtener el producto final. Para esta aplicación las recetas deben de tener información sobre la posición de cada una de las partes mecánicas (ajustes de la máquina) y la relación con el tipo de vidrio que se debe templar (producto final).

Cada una de las partes mecánicas tiene límites para evitar forzar algún elemento del Quench y para evitar alguna avería en el mismo, por ejemplo para poder mover de forma vertical la cabecera a diferentes alturas de la mesa transportadora se emplean tornillos que son controlados por medio de una señal

digital para el control de giro. El controlador verifica la altura que tienen estos elementos y si se alcanzan los límites inferiores o superiores ordena detener el movimiento vertical, adicionalmente en cada uno de los extremos de estos tornillos se coloca un sensor (limit switch) para verificar que no se trate de subir o bajar más de lo permitido tanto la cabecera como el conveyor, esto actúa también como protección mecánica, por si en algún momento falla el controlador.



Figura 5.16 Posición de las ventilas en el Quench y conveyor.

La operación del acomodo de las partes mecánicas del Quench la efectúa el operador como primer paso antes de comenzar con el templado del vidrio. Por medio de las recetas disponibles selecciona el tipo de vidrio que debe templar, así como otras características necesarias para el proceso, como la temperatura a la que debe estar el horno o la cantidad de vidrios que puede haber dentro del mismo. El sistema SCADA determina, de acuerdo con la receta, un *setpoint* para la Y, alas inferiores, alas superiores, cabecera y *conveyor*. Al confirmarse estos datos el controlador comienza a ejecutar los movimientos correspondientes en cuanto a alturas y posición de las ventilas para comenzar a realizar el templado de acuerdo al tipo de vidrio seleccionado y adicionalmente activa una señal luminosa que indica que el Quench se encuentra en operación. Los movimientos se realizan si la posición actual es mayor o menor a la del *setpoint*. Una vez alcanzada la posición deseada, el controlador detiene el movimiento y activa una señal que indica que el movimiento terminó; cuando se terminan todos los movimientos se apaga la señal luminosa previamente

encendida. La posición actual de cada elemento es proporcionada por una señal analógica conectada a los diferentes potenciómetros colocados en las partes mecánicas. La figura 5.16 muestra un ejemplo de estos movimientos para la Y del sistema de ventilación.

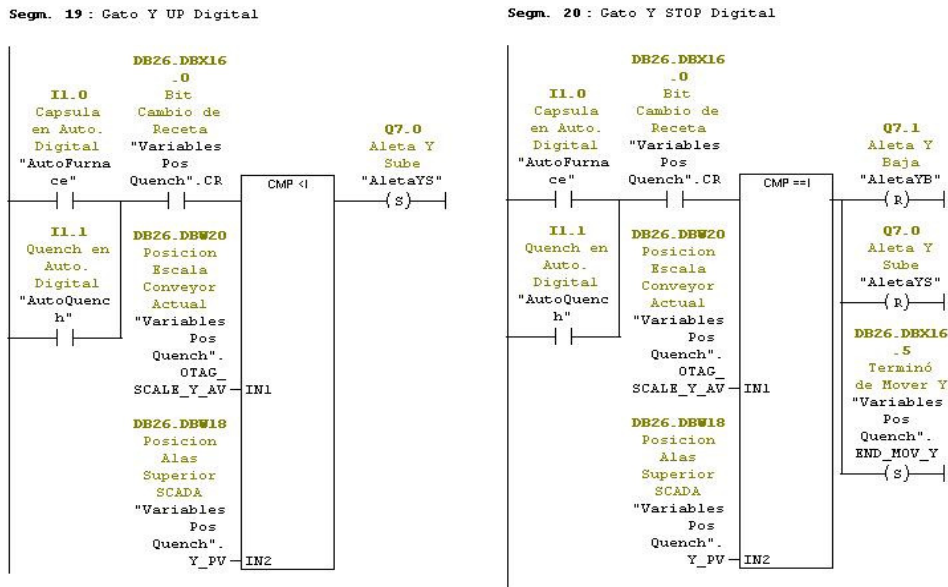


Figura 5.17 Funciones de arranque y paro del movimiento de la Y. Función para indicar que el movimiento del Quench terminó.

6. Automatización de la cápsula de calentamiento.

El calentamiento del vidrio es una parte primordial del proceso ya que se debe realizar en toda su superficie y por ambas caras de manera uniforme, para poder conseguir el mejor templado y evitar grietas o imperfecciones en el vidrio. El horno de templado se encuentra sobre la mesa principal y cuenta con una serie de resistencias colocadas en la parte superior e inferior, para controlar la temperatura en el interior del horno. Para conocer el valor actual de temperatura se colocan termopares en diferentes secciones del horno, estos termopares se conectan directamente a las tarjetas de entradas analógicas del PLC.

Para un mejor control de la temperatura el horno se divide en zona inferior y zona superior, cada zona cuenta con 8 sectores y en cada sector hay un grupo de 4 resistencias, las cuales se agrupan en pares para el encendido a distinto tiempo y obtener así un bajo consumo de energía. En la figura 6.1 se observa la división del horno.

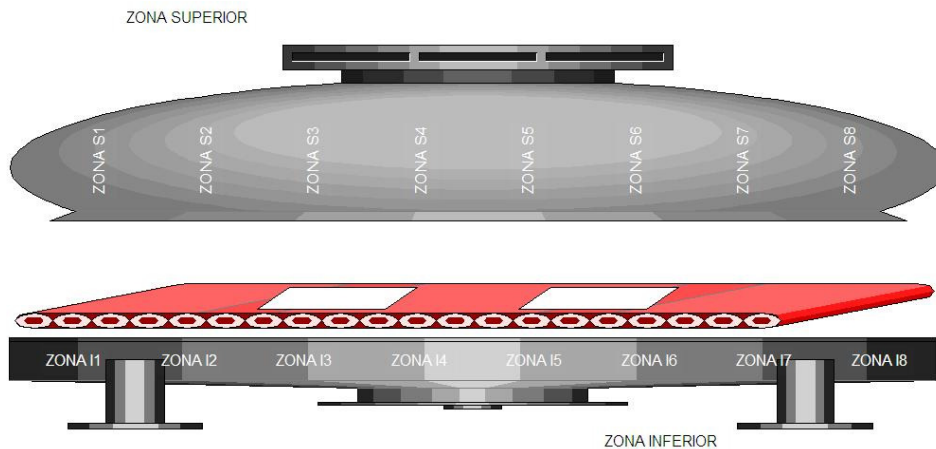


Figura 6.1 División del horno por zonas.

En primer lugar se determina la temperatura a la que se debe encontrar el horno de acuerdo al tipo de vidrio a templar, la cual por lo general debe oscilar entre 550°C y 750°C . El controlador debe asegurarse de que la temperatura establecida se mantenga en cada una de las zonas del horno, ya que el vidrio oscila a lo largo de la mesa principal y debe calentarse de manera uniforme.

Los termopares indican la temperatura del horno en cada una de las zonas, estos valores los recibe el PLC y ejecuta los lazos de control correspondientes para

saber qué resistencias y cuánto tiempo deben permanecer encendidas, con el fin de alcanzar la temperatura deseada, cuando se requiere una temperatura menor a la actual simplemente hay que dejar enfriar el horno hasta alcanzarla.

6.1 Potencia general y por zonas.

Para poder obtener una temperatura uniforme en todo el horno de templado se debe regular el calentamiento de cada zona por medio de las resistencias, de una forma poco funcional se pueden encender las resistencias todo el tiempo hasta que se alcance la temperatura deseada, esto provocaría que el consumo de energía sea alto, para evitar esto el encendido de las resistencias debe ser a diferentes tiempos. Se define un tiempo de ciclo máximo para el encendido de todas las zonas del horno y para cada grupo de resistencias se ajusta un porcentaje de encendido.

Cada zona cuenta con cuatro resistencias las cuales forman dos grupos, estos grupos se deben de encender a distintos tiempos; es decir, cuando el primer grupo está encendido el otro grupo permanece apagado y viceversa. El primer grupo lo forman las resistencias que se encuentran en los extremos de la línea y el otro grupo las que se encuentran en la parte central, como el calor se mantiene más en la zona central del horno el porcentaje de encendido en las resistencias del extremo debe ser mayor.

Cada una de las zonas se enciende por un tiempo específico (100%), se debe ajustar qué porcentaje debe ser para el primer grupo y qué porcentaje es para el segundo grupo, por ejemplo si el tiempo para cada zona es de 5 s y se determina que la relación de porcentaje para las resistencias es 70-30, las resistencias que se encuentran al extremo permanecerán encendidas 3.5 s y cuando éstas se apaguen el otro grupo de resistencias se encenderán por 1.5 s. Lo mismo sucede con las resistencias del grupo B y D de las zonas inferiores en el momento que a la zona le toque el turno de encendido.

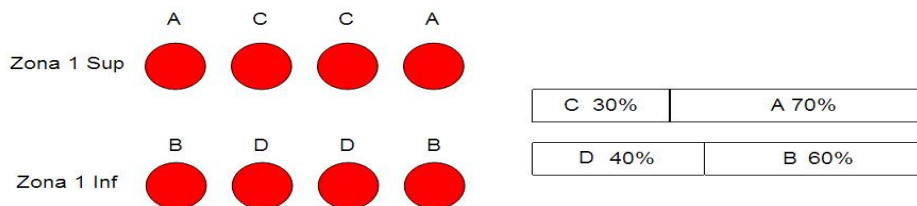


Figura 6.2 Relación de porcentaje de los grupos de resistencias.

Para hacer más eficiente el calentamiento del horno se debe evitar que las resistencias se encuentren encendidas al mismo tiempo, por lo que se genera una rotación del encendido de cada una de las zonas, cuando comienza el ciclo general se enciende la primer zona, tiempo después se enciende la segunda y así sucesivamente hasta cumplir con las 16 zonas del horno y vuelve a comenzar el ciclo.

En primer lugar, el controlador define el tiempo que debe transcurrir para poder encender la siguiente zona, simplemente divide el ciclo máximo definido entre las 16 zonas disponibles. Posteriormente, el controlador comienza activando un bit para encender la primer zona, en ese mismo instante arranca un temporizador con el tiempo establecido para cada zona, cuando el tiempo es cumplido hace una rotación del bit para encender la segunda zona.

Segm. 2): Delay Para Cada Grupo

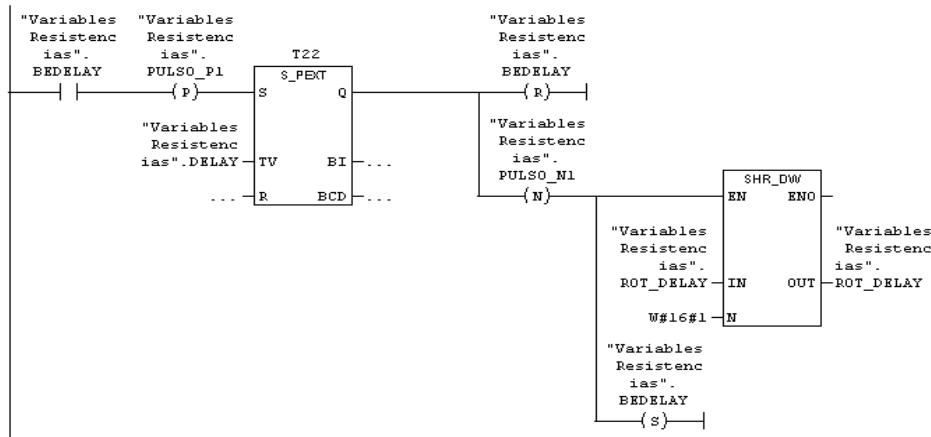


Figura 6.3 Función para el encendido de cada zona.

En la figura 6.3 se muestra la función para realizar el encendido de cada zona del horno. En primer lugar, con un flanco positivo en la señal se activa el temporizador y se desactiva esta señal de inicio. Pasado el tiempo establecido se hace una rotación a la derecha para encender la siguiente zona y se activa la señal para volver a activar el temporizador, posteriormente se hace una comparación para conocer cuál de todas las zonas es la próxima a encenderse.

Una vez determinada la sección del horno que debe calentarse, sus resistencias deben encenderse a tiempos diferentes. En primer lugar, se encienden las resistencias colocadas al extremo durante un tiempo, cuando este tiempo transcurre se apagan estas resistencias y las que se encuentran en el centro se encienden el resto del tiempo definido para cada una de las zonas. Todo el procedimiento anterior se repite para cada una de las zonas del horno.

Puede darse el caso de que en algunas zonas se haya alcanzado la temperatura deseada y en otras no, el controlador debe ser capaz de identificar qué resistencias deben de permanecer encendidas y cuáles apagadas. Las resistencias encienden siempre y cuando el lazo de control indique que es necesario encender cada grupo de resistencias de acuerdo a la temperatura actual del horno.

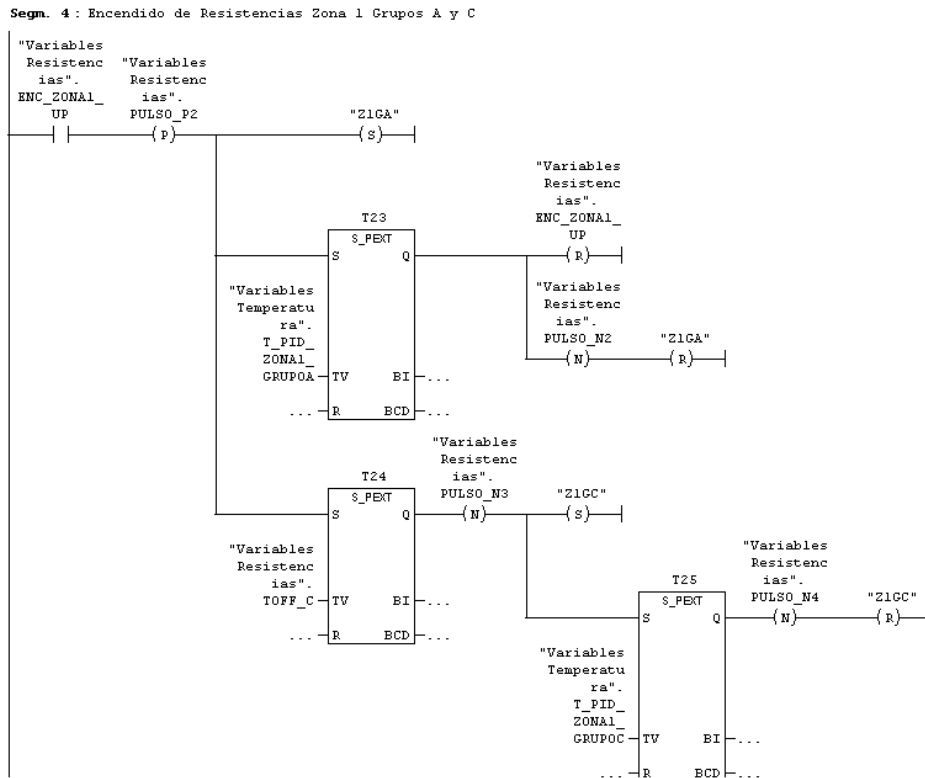


Figura 6.4 Función de los grupos de cada zona.

Todos los tiempos dependen del valor de regulación arrojado por cada uno de los lazos de control, los tiempos para cada temporizador son una fracción del tiempo total de barrido por toda la cápsula de templado. En la figura 6.5 se muestra un ejemplo de los ajustes que realiza el controlador de acuerdo con los datos establecidos, estos valores de tiempo son los que emplean los temporizadores para determinar cuánto deben permanecer las resistencias encendidas

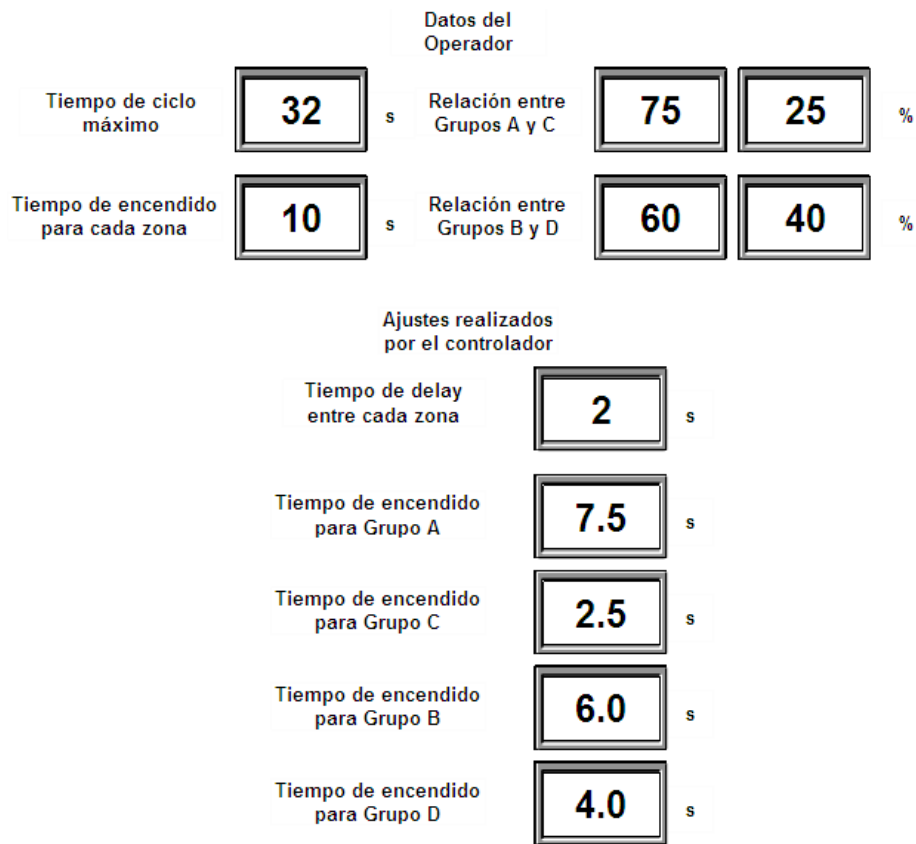


Figura 6.5 Ajustes para los tiempos de encendido de las resistencias para cada zona.

Si se define un ciclo máximo de 32 s, el controlador divide este tiempo entre las 16 zonas del horno para conocer cada cuánto tiempo debe encender las zonas, en este caso cada 2 segundos se debe encender una nueva zona comenzando por la zona superior 1 y terminando por la zona inferior 1. Otro factor que se ajusta es el tiempo de encendido para cada zona y los porcentajes para cada grupo de resistencia, por lo tanto el tiempo que duran encendidas las resistencias del grupo es el 75% del tiempo de encendido de toda la zona, para este ejemplo sería de 7.5 s, y el tiempo para el grupo C sería de 2.5 s. Los grupos A y C están definidos para la zona superior y los grupos B y D para la zona inferior como se muestra en la figura 6.2

Cuando se inicia el control del calentamiento inicia la rotación del encendido de cada zona del horno, en primer lugar se enciende la zona S1, después de 2 s se enciende la zona S2 y así sucesivamente hasta llegar a la zona S8,

posteriormente inicia la zona I8 y después de 2 s la zona I7 y continua hasta terminar el ciclo y volver a comenzar una vez más.

Al activarse la zona S1, el grupo A se enciende durante 7.5 s una vez terminando este tiempo el grupo A se apaga y se enciende el grupo C durante 2.5 s, terminado este tiempo se apaga el grupo C y permanece apagada la zona S1 hasta que el ciclo se complete nuevamente y vuelva a ser su turno de encendido. Este procedimiento lo realiza en cada una de las zonas.

Los datos respecto al tiempo que debe permanecer encendido cada uno de los grupos en el ejemplo anterior son los ideales, cuando los lazos de control de cada zona indican un 100% en su valor de regulación, esto únicamente se da cuando existe una gran diferencia entre el *setpoint* ajustado y el valor real de temperatura. Los tiempos para cada grupo dependen del valor de regulación entregado por el PID correspondiente, por lo que cada tiempo será un porcentaje del total establecido en el sistema SCADA. Por ejemplo si el lazo de control indica que sólo se deben encender las resistencias un 50% entonces el tiempo para el grupo A no será de 7.5 s sino de 3.75 s y el tiempo para el grupo C cambiará de 2.5 s a 1.25 s.

6.2 Lazos de control para cada zona.

Los lazos de control se utilizan para regular el tiempo de encendido de las resistencias de acuerdo a la diferencia de temperatura actual con la requerida por el operador. En cada zona se tiene un termopar para conocer su temperatura actual, éstos envían la señal a las tarjetas analógicas del controlador por medio de una señal de corriente de 4 a 20 mA.

El termopar toma la lectura física de la temperatura del horno y escala los valores en una señal analógica de corriente, al adquirir los termopares se deben especificar los rangos de lectura que se desean utilizar para obtener una lectura confiable de la señal. En este caso los termopares permiten obtener lecturas de 0°C a 800°C.

Por otro lado, dado que el controlador recibe la lectura como una señal analógica, para poder hacer un análisis correcto y que el lazo de control realice su función de manera efectiva, es necesario indicar cuál es la magnitud obtenida en términos de temperatura y no de Amperes, para ello es necesario emplear una función de escalamiento para cada uno de los termopares, es decir programar una función de conversión de corriente-temperatura.

El controlador cuenta con una función de escalamiento que cumple con la conversión requerida. La ecuación insertada en el bloque de escalamiento, así como la explicación de su funcionamiento, son las siguientes.

La función escalar valores (SCALE) toma un valor entero en la entrada IN y lo convierte en un valor real, convirtiéndolo a escala en un rango comprendido entre un límite inferior y un límite superior (LO_LIM y HI_LIM). El resultado se escribe en la salida OUT. La función SCALE aplica la siguiente fórmula:

$$OUT = [(FLOAT(IN) - K1) / (K2 - K1)] * (HI_LIM - LO_LIM) + LO_LIM$$

Las constantes K1 y K2 se aplican de forma diferente, dependiendo de si el valor de entrada es BIPOLAR o UNIPOLAR.

BIPOLAR: Se supone que el valor entero de entrada debe estar entre -27648 y 27648, por lo tanto, K1 = -27648.0 y K2 = 27648.0

UNIPOLAR: Se supone que el valor entero de entrada debe estar entre 0 y 27648, por lo tanto, K1 = 0.0 y K2 = 27648.0⁸

Como se indica en el texto anterior los datos enteros de entrada deben de estar entre 0 y 27648 o entre -27648 y 27648. Para obtener estos valores el controlador por medio del direccionamiento de su tarjeta de señales analógicas convierte la intensidad de corriente recibida por el termopar en un señal digital, en este caso una palabra de 16 bits para poderla interpretar de forma correcta.

Las tarjetas analógicas son capaces de interpretar distintos tipos de señales: tensión, intensidad de corriente, resistencia y termo resistencia, y además son capaces de ajustarse a diferentes rangos de lectura. Estos ajustes se hacen por software y hardware. En el caso del hardware las tarjetas analógicas cuentan en la parte lateral con una clave codificada de ajustes, con la que de acuerdo a su posición es el tipo de señal que pueden interpretar.

En la herramienta de configuración de hardware mostrada en la figura 6.6, se ajustan el tipo de señal y el rango de lectura que se desea tener, para los termopares el tipo de señal seleccionado es intensidad y el rango es de 4 a 20 mA.

⁸ Ayuda de funciones estándar, Step7 V5.4 SP5 Escalar valores (SCALE): FC105

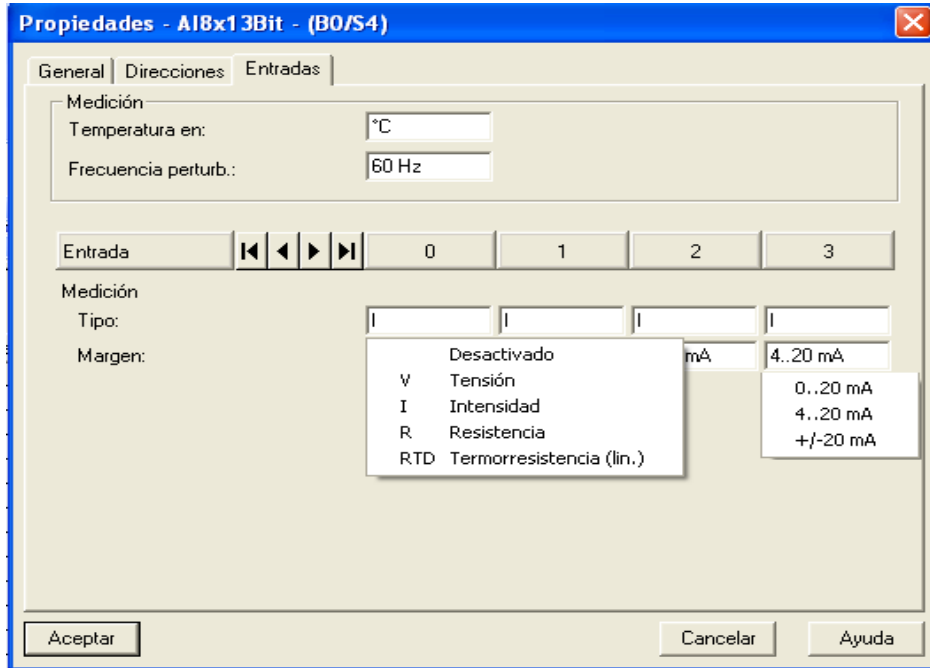


Figura 6.6 Ajustes para las tarjetas de señales analógicas.
Hardware Configuration – Step7

En cada tarjeta se asignan direcciones para poder conocer el valor que se recibe del termopar, estas direcciones funcionan como la entrada de las funciones de escalamiento. Las tarjetas empleadas son de 8 señales analógicas, suponiendo que el controlador le asigna direcciones entre 256 y 271 a una tarjeta, significa que la dirección de la primera señal analógica es la 256 y como entrega valores de 16 bits (palabra) la siguiente señal tiene la dirección 258 y así sucesivamente hasta la octava señal que adquiere la dirección 270.

Con estos datos la función de escalamiento se muestra en la figura 6.7, donde PIW 272 es una de las temperaturas, 800 es su límite superior y 0 el límite inferior (rangos de temperatura permitidos en el horno), el arreglo de contactos define la entrada como unipolar y en OUT se obtiene el valor de temperatura escalado.

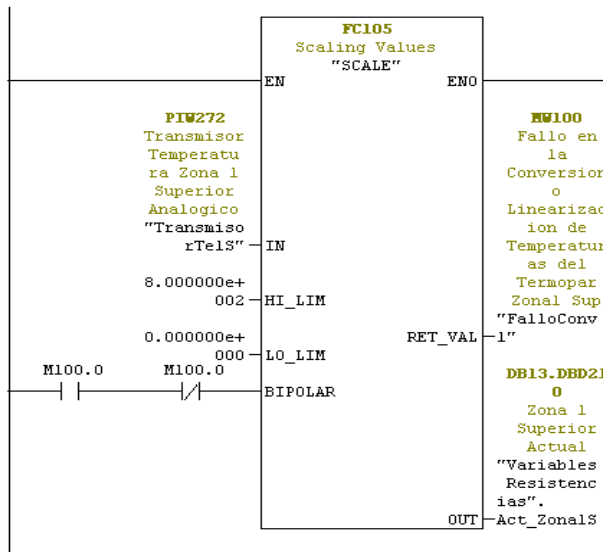


Figura 6.7 Función para escalar señales analógicas.

El lazo de control requiere el valor de la temperatura deseada, dicho valor lo toma del sistema SCADA en donde es ajustado de acuerdo al tipo de vidrio y forma que se debe templar. Al igual que para realizar el escalamiento, el controlador cuenta con funciones de lazos de control y regulación de los datos obtenidos. Para realizar una regulación correcta, el bloque de función se debe programar en un bloque cíclico el cual se ejecuta cada determinado tiempo.

Los bloques de lazo de control y regulación cuentan con una gran cantidad de parámetros que se pueden modificar. Basándose en un ejemplo incluido en el software de programación, se llegó a la conclusión de que indicando únicamente la temperatura actual y el setpoint deseado, el lazo de control entrega valores confiables. Posteriormente, se utilizan algunos datos del bloque PID como entrada del bloque de regulación.

Los bloques PID necesitan estar ligados a un bloque de datos en donde van guardando los datos de la regulación para ejecutar los cálculos correspondientes. En dicho bloque de datos se deben ajustar los valores de ganancia proporcional, tiempo de integración, tiempo de acción derivativa y tiempo de muestreo, así como algunos otros valores que no se modifican por el análisis previo empleando un programa de ejemplo incluido en el software.

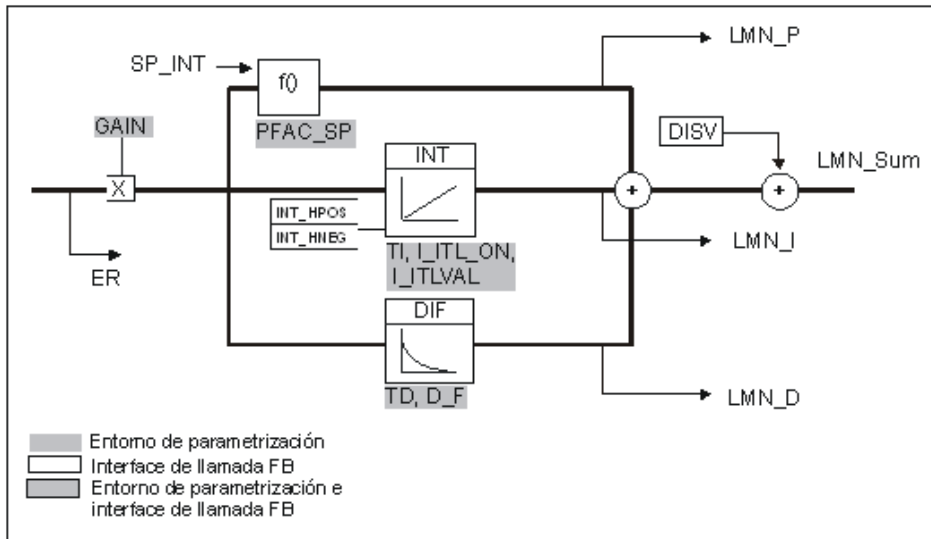


Figura 6.9 Algoritmo PID para el bloque de lazo de control.

El algoritmo PID trabaja en el algoritmo de posición. Las acciones proporcional, integral (INT) y derivativa (DIF) están conectadas en paralelo y pueden activarse y desactivarse por separado. De este modo se pueden parametrizar reguladores P, PI, PD y PID. La optimización del regulador es compatible con los reguladores PI y PID. La inversión del regulador se efectúa mediante un parámetro GAIN negativo (regulador de refrigeración). Si pone a 0.0 TI y TD, obtendrá un regulador P puro en el punto de trabajo.

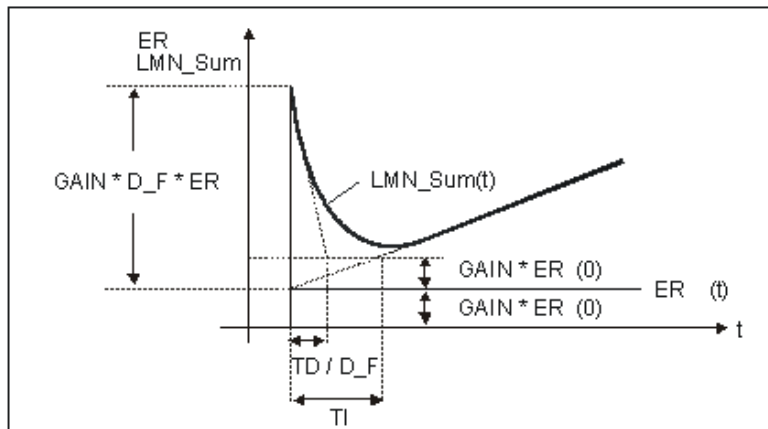


Figura 6.10 Respuesta inicial en el margen del tiempo.

La respuesta indicial en el margen del tiempo presenta las siguientes señales. $LMN_Sum(t)$, es la magnitud manipulada en modo Automático del regulador. $ER(0)$ es la amplitud del escalón del error de regulación normalizado. $GAIN$ es la ganancia del regulador. TI es el tiempo de acción integral. TD es el tiempo de acción derivativa. D_F es el factor de acción derivativa.⁹

El lazo de control utiliza un bloque adicional para obtener el valor de acción sobre las resistencias en forma de porcentaje, la señal valor manipulado entregada por el primer bloque actúa como entrada del segundo bloque obteniendo como resultado el porcentaje del tiempo total establecido que se deben encender las resistencias.

Entre más grande sea la diferencia de temperaturas, por ejemplo una temperatura actual de 500°C y se requiere una temperatura de 600°C, el bloque tendrá en su salida un valor de 100% del tiempo, para que se enciendan todas las resistencias y se pueda alcanzar los 600°C de manera rápida. Si se toman los datos mostrados en la figura 6.5, el grupo A permanecerá encendido durante 7.5 s y el grupo C durante 2.5 s que son los valores planteados, pero en cuanto la temperatura aumenta la salida del lazo será mucho menor, suponiendo que ya se alcanzó una temperatura de 580°C el bloque indicará un porcentaje menor, por ejemplo 25%, con lo que las resistencias del grupo A sólo encenderán 1.875 s y las del grupo C encenderán 0.625 s.

⁹ Ayuda de funciones estándar, Step7 V5.4 SP5 Regulación de temperatura continua con el FB 58 "TCONT_CP"

```

CALL "TCONT_CP" , "Zonal Sup"
PV_IN := "Variables Resistencias".Act_Zonals
PV_PER :=
DISV :=
INT_HPOS:=
INT_HNEG:=
SELECT :=
PV :=
LMN :=
LMN_PER :=
QPULSE :=
QLMN_HLM:=
QLMN_LLM:=
QC_ACT :=
CYCLE :=
CYCLE_P :=
SP_INT := "Variables Resistencias".Zonals_SP
MAN :=
COM_RST :=
MAN_ON :=
NOP 0

CALL "PROC_C" , "Proc_1S"
INV := "Zonal Sup".LMN
DISV :=
AME_TEM:=
GAIN :=
TM_LAG1:=
TM_LAG2:=
TM_LAG3:=
CYCLE :=
OUTV := "Zonal Sup".PV_IN
COM_RST:=

```

```

L "Zonal Sup".LMN DB61.DED18 -- manipulated variable
L 1.000000e+002
/R
L "Variables Resistencias".TMAMA DB13.DED88 -- Tiempo Maximo de Encendido del Grupo A
*R
L 1.000000e+001
*R
TRUNC
DTB
L W#16#1000
+I
T "Variables Temperatura".T_PID_ZONAL_GRUPOA DB14.DEW0 -- Tiempo de Encendido de las Resistencias Zona 1 Grupo A

```

Figura 6.11 Bloques PID y regulación para cada termopar.
Ajuste de tiempo de encendido para cada grupo de resistencias.

Todos estos elementos permiten la regulación de la temperatura de la cápsula de calentamiento del horno de templado, de modo que en todo momento se mantenga una temperatura equilibrada en cada una de las zonas, y por

consiguiente se obtenga el mejor templado posible sobre los distintos tipos de vidrio.

6.3 Calentamiento inicial de la cápsula.

El horno de templado fue utilizado anteriormente en otro país y fue trasladado vía marítima a la empresa en Guadalajara. Al transportar el equipo en barco la porcelana de la cápsula de calentamiento es propensa a adquirir cierta humedad, por lo que antes de encender el horno y llevarlo a su máxima capacidad de temperatura, éste debe realizar un primer calentamiento de forma gradual y durante un tiempo considerable, de forma que se evite tener algún tipo de fisura o incluso una rotura mayor en sus paredes interiores, lo que impediría poder conservar el calor adecuadamente.

Cuando se realiza este procedimiento se dice que “se hace llorar a la cápsula” debido a que, al aumentar de forma gradual la temperatura al interior de la cápsula, en las paredes se comienza a evaporar el agua que tiene debido a la humedad adquirida, haciendo que dicha agua comience a escurrir sobre las paredes exteriores.

Este calentamiento inicial se realiza en 4 días, ya que se aumentan sólo 10°C por hora y se debe alcanzar la temperatura máxima de 800°C. Además en ciertas temperaturas definidas se debe mantener la temperatura por 6 horas y posteriormente continuar con el incremento de cada hora.

En primer lugar se asigna un *setpoint* de 30°C y se habilita la señal para el calentamiento inicial, el controlador tiene una función donde se puede conocer en todo momento la hora con la que se hacen las comparaciones para realizar un incremento en el *setpoint*. La función del sistema permite obtener la fecha y hora del PLC, dicha función entrega la información en una variable de 64 bits u 8 bytes, cada uno de éstos indica un valor en específico de la siguiente manera.

Al activarse el bit de calentamiento inicial, el valor del *setpoint* ajustado en el sistema SCADA es tomado y funciona como el primer valor de ajuste para los PIDs.

Se definen 3 temperaturas en las que el horno debe mantener por más tiempo ese valor, estas temperaturas son 200°C, 400°C y 600°C. Cuando la temperatura llega a estos valores, el controlador evita que se incremente 10°C el *setpoint* durante una hora.

Byte	Contenido	Margen
0	Año	90 ... 89, es decir, los años 1990 hasta 2089
1	Mes	01 ... 12
2	Día	1 ... 31
3	Hora	0 ... 23
4	Minuto	0 ... 59
5	Segundo	0 ... 59
6	2 MSD de ms	00 ... 99
7 (4 MSB)	LSD de ms	0 ... 9
7 (4 LSB)	Día de la semana	1 ... 7 (1 = Domingo)

Tabla 6.1 Representación de los bytes del tipo de datos Date and time.

Una vez alcanzada la temperatura máxima, el horno se deja enfriar por un par de días hasta alcanzar una temperatura alrededor de 550°C en ese momento la cápsula se encuentra lista para poder trabajar de forma normal de acuerdo al vidrio que se debe templar.

7. Ahorro de energía.

Cuando se desarrollan cada una de las fases del proyecto se identifica que algunas de las funciones realizadas podían ser optimizadas, preferentemente en cuestiones de ahorro de energía.

Al ejecutar las pruebas correspondientes sobre las fases programadas se observa que en algunas ocasiones el ventilador proporciona aire incluso cuando no hay vidrio sobre la mesa Quench, que la mayoría de las resistencias se encienden al mismo tiempo o que el variador de velocidad tiene una rampa de aceleración muy rápida para llegar al valor deseado, lo que aumenta el consumo de energía eléctrica.

Para conocer qué mejoras se pueden agregar al horno, se hace una comparación con otro horno de templado. Con este análisis se determina que las mejoras debían ser en el encendido de las resistencias del horno, el funcionamiento del Quench en el enfriado del vidrio y evitar trabajar con el horno cuando aumentaba el costo de la tarifa de energía.

7.1 Horario de trabajo de acuerdo a CFE y a horario de invierno / verano.

En la empresa cuentan con dos turnos de trabajo, debido a que por las tardes hay un incremento en la tarifa de energía eléctrica por CFE, por lo que para ahorrar energía y por lo tanto dinero el proceso sólo debe estar disponible por la mañana y por las noches, además existe una tarifa distinta para fines de semana y para días festivos, así como para horario de invierno y horario de verano y por la región del país. En algunas ocasiones los operadores terminan 10 ó 15 minutos más tarde del límite para poder concluir con la producción o llegan temprano y encienden el motor del ventilador, esos lapsos hacen que el costo de la energía aumente y por lo tanto también se incremente el costo de producción.

Región	Cargo por kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt - hora de energía de punta	Cargo por kilowatt - hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt - hora de energía de base
Baja California	\$ 8.59	\$ 1.2359	\$ 0.7170	\$ 0.6426
Baja California Sur	\$ 9.48	\$ 1.4932	\$ 0.9902	\$ 0.8035
Central	\$ 10.46	\$ 0.9281	\$ 0.7795	\$ 0.7572
Noreste	\$ 9.68	\$ 0.8658	\$ 0.7244	\$ 0.6892
Noroeste	\$ 9.90	\$ 0.8436	\$ 0.7149	\$ 0.6998
Norte	\$ 9.74	\$ 0.8764	\$ 0.7311	\$ 0.6911
Peninsular	\$ 10.90	\$ 0.8043	\$ 0.7192	\$ 0.7012
Sur	\$ 10.46	\$ 0.8702	\$ 0.7394	\$ 0.7202

Regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

Del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Tabla 7.1 Tarifas regionales por consumo de energía eléctrica Enero 2008.

La empresa se encuentra localizada en Guadalajara y le corresponden las tarifas de la región central, por lo que el ideal de la empresa es producir con las tarifas base e intermedia y evitar la producción en la tarifa de punta, aunque en caso de una alta demanda de producto se debe permitir trabajar en este horario. Para conseguir esto la empresa cuenta con dos turnos de trabajo entre semana y uno el sábado, el primero de 8:00 am a 5:00 pm y el segundo de 10:00 pm a 7:00 am.

De todos los elementos eléctricos involucrados en el proceso los de mayor consumo son el motor encargado de suministrar presión al vidrio y el encendido de las resistencias y en menor proporción los motores del sistema de transporte; por ello se diseña una función encargada de evitar que estos dispositivos puedan ser encendidos en momentos donde hay incremento en las tarifas eléctricas y que se puede ajustar al horario de invierno o verano. En primer lugar se obtiene la fecha y hora del PLC y se almacena el valor en una variable de 8 bytes, el significado de los bytes se muestra en la tabla 6.1. Para evitar que se enciendan los equipos basta con conocer el valor de hora (byte 3) y para ajustar al horario

de invierno / verano el valor de mes (byte 2), día (byte 3) y día de la semana (byte 7).

Con los valores obtenidos se efectúan comparaciones de acuerdo al día de la semana, a la tarifa que aplica para ese día y de acuerdo al horario actual. El controlador se ajusta automáticamente al cambio de horario por lo que únicamente se debe ajustar el horario de las tarifas. Para determinar si el sistema se encuentra dentro del horario de invierno o de verano se programan las reglas del cambio de horario que indican que el primer domingo de abril entra el horario de verano y dura hasta el último domingo de octubre.

Para ello se realiza una comparación del valor del byte del mes con 4, que corresponde al mes de abril, y con 10, que identifica al mes de octubre, además se compara el valor del byte del día de la semana con 1, que identifica al día domingo, y, finalmente el valor del byte del día que debe ser menor o igual a 7 o mayor o igual a 25, dependiendo si es invierno o verano.

Si la señal verano/invierno toma el valor de 0 indica que el sistema se encuentra dentro del horario de invierno y si tiene el valor de 1 indica que está en horario de verano. Por ejemplo, si se revisa el horario de verano el PLC compara el mes con 4, si es correcto compara el día de la semana con 1, el controlador toma como primer día al domingo y como último al sábado, si es correcto compara el día del mes, si es menor o igual a 7, porque el día 7 es el último día que puede ser el primer domingo del mes, finalmente si es correcto activa la señal verano/invierno.

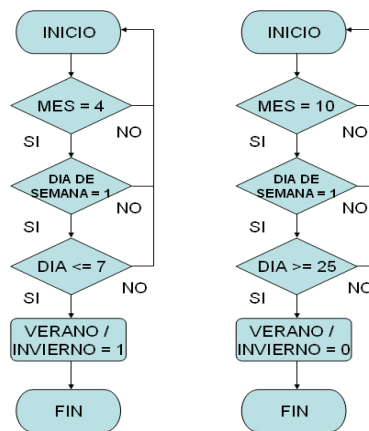
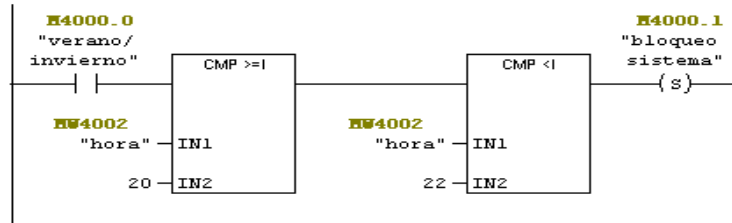
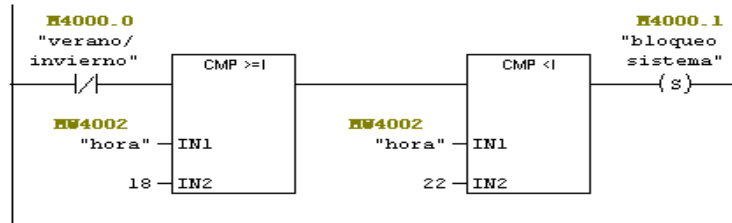


Figura 7.1 Diagrama de flujo de cambio de horario.

Segm. 1: bloquear sistema verano



Segm. 2 : bloquear sistema invierno



Segm. 3 : desbloquear sistema invierno

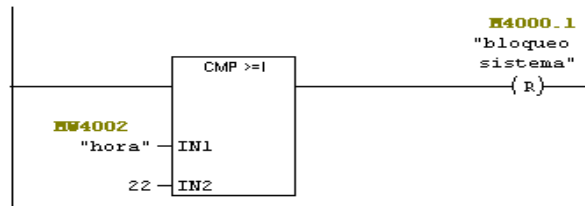


Figura 7.2 Funciones para bloqueo o desbloqueo del sistema.

Una vez identificado en qué horario se encuentra el sistema se ajustan los horarios de trabajo de acuerdo al día de la semana. Por lo tanto si la señal verano / invierno es igual 1, la comparación de la hora se hace con 20 y si es igual a 0 la comparación se hace con 18, si la comparación es correcta se activa una señal que bloquea el sistema y cuando la comparación es igual a 22 se desactiva esta señal y se reactiva el funcionamiento en ambos casos.

7.2 Función de enfriado inteligente.

El motor que proporciona la presión por medio del sistema de enfriado es el dispositivo con mayor consumo energético, alrededor de los 450 kW, además puede generar altos picos de corriente al ejecutar los cambios de frecuencia. Con las rampas diseñadas para el sistema de enfriado se evitan los picos de corriente ya que el aumento o disminución de la frecuencia se da forma gradual.

La mesa principal tiene la capacidad de tener hasta 5 vidrios, pero se puede dar el caso en el que un vidrio no haya sido ingresado al proceso por decisión del operador y en el siguiente ciclo sí se ingrese el vidrio, en este caso el sistema de ventilación debe ser capaz de identificar si en la mesa Quench existe o no vidrio con el fin de evitar los incrementos o decrementos de frecuencia innecesarios. Para ello se define una función de enfriado inteligente encargada de suministrar presión siempre y cuando esté un vidrio sobre la mesa Quench y de mantener la frecuencia actual cuando no haya vidrio a templar.

La única forma de que no se introduzca vidrio y que el sistema lo pueda reconocer, a falta de un sensor de presencia, es un botón de paro de emergencia que levanta el vidrio sobre los rodillos y evita que el vidrio sea introducido a la cápsula de calentamiento. Esta señal enviada por el botón es utilizada para saber en qué secuencia se encuentran los vidrios dentro de la cápsula, es decir, si los vidrios se encuentran uno detrás del otro o si existe algún hueco entre ellos, dependiendo del número de cargas elegidas. Cada que se hace un traslado de la mesa de entrada a la mesa principal se debe revisar la posición de los vidrios.

La función de enfriado inteligente ejecuta sus instrucciones de la siguiente manera. En primer lugar se tiene una variable de 16 bits llamada smart, los 5 bits menos significativos identificarán la distribución de los vidrios en la cápsula de calentamiento, por ejemplo si se tienen 5 cargas y la variable smart tiene el valor de 000110 indica que de los 5 vidrios que debieran estar en la Mesa principal sólo 3 lo están, esto se observa analizando el estado de cada uno de los bits, si el bit tiene el valor de 0 indica que hay vidrio y si tiene el valor de 1 no se encuentra vidrio.

Al activarse la señal que identifica que un vidrio debe pasar de la mesa de entrada a la mesa principal se hace una comparación para saber la cantidad de cargas que puede soportar la cápsula de calentamiento. Una vez identificada la cantidad de cargas se hace un corrimiento de bits a la derecha sobre la variable, ya que al entrar un vidrio a la cápsula otro sale hacia el Quench. Posteriormente, la función hace una suma lógica (OR) entre dos palabras de acuerdo a las cargas establecidas y al estado del botón de paro de emergencia, en la tabla 7.2 se identifica el valor a sumar lógicamente de acuerdo a las características mencionadas.

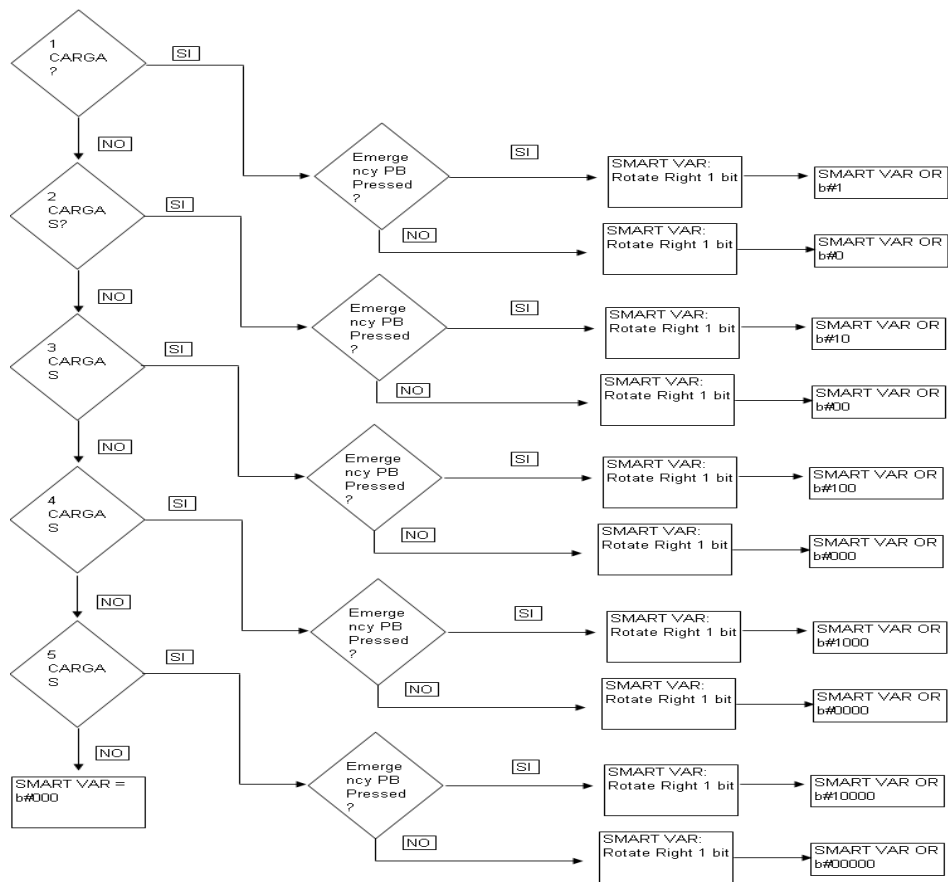


Figura 7.3 Diagrama de flujo de la función de enfriado inteligente. Se considera al botón de paro de emergencia como un contacto normalmente cerrado.

Cargas de trabajo	Paro de emergencia	Valor a sumar
1	No activo	00000
1	Activo	00001
2	No activo	00000
2	Activo	00010
3	No activo	00000
3	Activo	00100
4	No activo	00000
4	Activo	01000
5	No activo	00000
5	Activo	10000

Tabla 7.2 Valores a sumar de acuerdo a cargas y botón de paro de emergencia.

A continuación se explica un ejemplo de la función de enfriado inteligente suponiendo que el operador opta por trabajar con 3 cargas y decide no introducir vidrio en la segunda secuencia. Para ello se utiliza la tabla 7.2.

Al inicio del proceso la variable *smart* es igual 00000. En el primer ciclo y después del corrimiento la variable es igual a 00000, el operador introduce un vidrio por lo que el valor a sumar lógicamente es 00000 de acuerdo a la tabla 7.2. Como resultado de la suma lógica la variable *smart* es igual a 00000.

En el segundo ciclo y después del corrimiento la variable *smart* es igual 00000. El operador decide no introducir vidrio activando el botón de paro de emergencia antes de que se active el traslado del vidrio y lo desactiva una vez transcurrida esa acción, ahora el valor a sumar lógicamente es 00100. Después de la suma lógica el valor de *smart* es igual a 00100.

Al tercer ciclo y después del corrimiento *smart* es igual a 00010, el operador introduce vidrio por lo que el valor a sumar lógicamente es 00000. Después de la suma la variable *smart* es igual a 00010. En éste ciclo la cápsula de calentamiento debería tener 3 vidrios ya que han pasado 3 ciclos, pero como se mencionó el operador decide no introducir uno de ellos, por lo que de los 3 vidrios que pueden estar en la cápsula sólo 2 ellos se encuentran dentro.

En éste momento la variable *smart* tiene un valor de 00010, para saber la secuencia de los vidrios dentro de la cápsula, sólo se toman los 3 bits menos significativos, ya que sólo se tienen 3 cargas. Con esto se tiene un valor de 010, con lo cual se sabe que en la Mesa principal se encuentran únicamente 2 de los 3 vidrios que deberían estar, teniendo que en la parte inicial y final se encuentra un vidrio, y en la parte de en medio no hay vidrio.

La función revisa el bit menos significativo de la variable *smart* y si el valor es igual a 0 determina que un vidrio va a pasar a la mesa Quench, si el valor es igual a 1 determina que no hay vidrio a trasladar por lo que el sistema de enfriado no debe tener variaciones de presión.

Al activarse un cuarto ciclo, un vidrio se traslada a la siguiente mesa y cómo el valor del bit menos significativo es 0 se efectúan los cambios de presión. Después del corrimiento la variable *smart* es igual a 00001. El operador continúa introduciendo vidrios, por lo que el valor a sumar lógicamente es 00000. Después de la suma la variable tiene el valor de 00001.

Al siguiente ciclo la función revisa el bit menos significativo y como es igual a 1 evita los cambios de presión ya que no hay ningún vidrio para templarse. Con esta misma lógica el valor de *smart* en los ciclos sucesivos será de 00000 ya que el operador continúa introduciendo vidrios en cada ciclo.

Ciclo	SMART	Bit menos signifi.	Func. Quench	SMART + corrimiento	Introd. vidrio	Valor a sumar lógic.	SMART después de suma lógica	Últimos 3 bits
1	00000	-	-	00000	SI	00000	00000	000
2	00000	-	-	00000	NO	00100	00100	100
3	00100	-	-	00010	SI	00000	00010	010
4	00010	0	SI	00001	SI	00000	00001	001
5	00001	1	NO	00000	SI	00000	00000	000
6	00000	0	SI	00000	NO	00100	00100	100
7	00100	0	SI	00010	NO	00100	00110	110
8	00110	0	SI	00011	SI	00000	00011	011
9	00011	1	NO	00001	SI	00000	00001	001
10	00001	1	NO	00000	SI	00000	00000	000

Tabla 7.3 Ejecución de la función smart después de 10 ciclos con 3 cargas.

En la tabla 7.3 se muestran los valores que se obtienen en la variable *smart* después de 10 ciclos, considerando que se va a manejar una carga de 3 vidrios. Se observa que la columna funciona Quench, tiene la misma secuencia que la columna introduce vidrio desfasada tres ciclos, por lo tanto la función trabaja correctamente y evita que se accione el Quench cuando no es necesario.

7.3 Encendido de las resistencias.

Otra forma de ahorrar energía es evitar que dispositivos como las resistencias de calentamiento se encuentren encendidas todo el tiempo, al tener una cápsula de calentamiento de alrededor de 20 metros de largo y 3 metros de ancho, la parte central será capaz de conservar el calor y en los extremos se tendrán pérdidas, por lo que las resistencias colocadas al inicio y final de la cápsula estarán encendidas más tiempo que las localizadas en el centro, razón por la cual es conveniente dividir el horno de templado en zonas.

Adicionalmente, por la forma semiesférica de la cápsula se concentra más el calor en la parte central que en la orilla de cada zona como se muestra en la figura 7.4, por lo que, de las cuatro resistencias que se encuentran en cada zona,

las que se encuentran en las orillas deben de permanecer mayor tiempo encendidas.

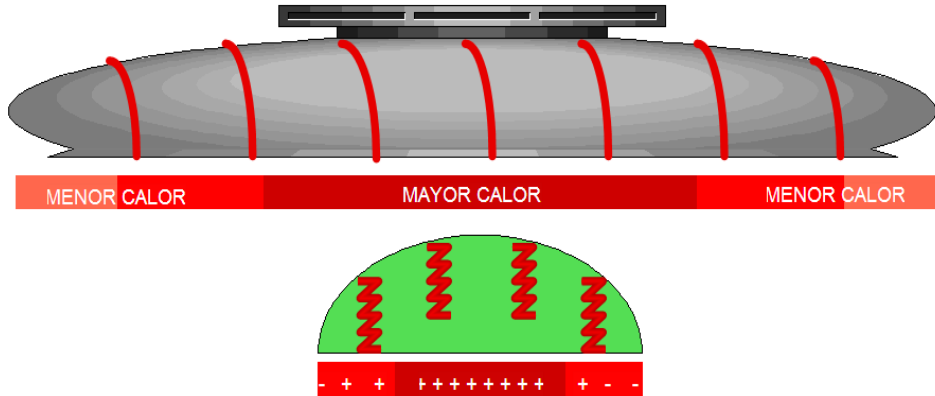


Figura 7.4 Representación de las zonas que permiten conservar el calor.

Por esta razón se debe dividir cada zona en grupos de dos resistencias, un grupo para la zona central y un grupo para los extremos, con el fin de tener una temperatura uniforme en toda la cápsula de calentamiento y además evitar tener encendidas todas las resistencias.

De acuerdo a lo establecido en el Capítulo 6, se define un tiempo de ciclo en el cual se van encendiendo las 32 resistencias de la zona superior y de la zona inferior, dicho tiempo se divide entre las 16 zonas con lo que se obtiene el tiempo de encendido para cada zona, posteriormente el tiempo se divide entre dos grupos pero no a la mitad.

Se define en el sistema SCADA el porcentaje adecuado para cada grupo. Considerando lo mostrado en la figura 7.4, los grupos de resistencias de los extremos deben de obtener el mayor porcentaje de tiempo para poder mantener el mismo nivel de calentamiento que en la zona central. Por ejemplo, si el tiempo de ciclo es 160 s, el tiempo para cada zona será de 10 s y si la relación de los grupos es 80 – 20, el grupo del extremo encenderá durante 8 s y el del centro 2 s. Adicionalmente el PID indica, de acuerdo a la regulación entregada, el tiempo real de encendido. Continuando con el ejemplo si el valor real de temperatura está 20°C por debajo del setpoint, el porcentaje entregado por el PID estará muy cercano al 100%, por lo que los valores de 8 y 2 segundos para los grupos se mantendrán. De lo contrario si el valor real está 3°C por debajo del setpoint el porcentaje estará alrededor del 25%, por lo que ahora los grupos sólo se encenderán 2 y 0.5 segundos.

Al mantener el calor en todas las zonas de la cápsula se obtiene una mejor respuesta para alcanzar la temperatura requerida por el operador y mantenerla una vez alcanzada. Además al realizar el encendido de las zonas de manera acíclica, y sólo para los grupos que son necesarios, el consumo de energía demandado por las resistencias será mucho menor que tener encendidas las 64 resistencias al mismo tiempo. Tomando como ejemplo sólo la zona inferior y considerando los siguientes datos, el funcionamiento de las resistencias se efectúa como se muestra en la figura 7.5.

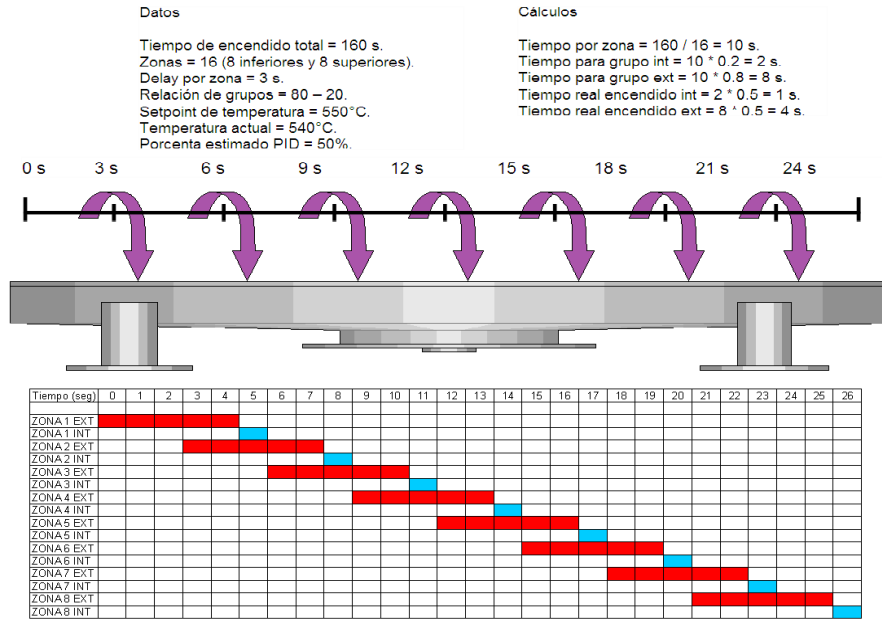


Figura 7.5 Encendido de las resistencias con respecto al tiempo.

Como se muestra en la figura, a pesar de que el delay para la rotación de las zonas es menor que el tiempo por zona y en algunos momentos están encendidas dos zonas, la cantidad de resistencias que se encienden al mismo tiempo es mínima, siendo para el ejemplo anterior cuatro resistencias. Si no se hiciera la rotación y el retraso para cada zona con los mismos datos del ejemplo, se encenderían 8 grupos dando un total de 16 resistencias encendidas si se respeta la división por grupos ó 32 resistencias si no se respeta. Lo anterior hace notar el ahorro energético que se presenta en cuestiones de calor y, por lo tanto, en el consumo de energía eléctrica. Al no tener una referencia previa del consumo de los demás hornos no se puede cuantificar el ahorro real al implementar estas funciones.

8. Puesta en marcha.

Al término del desarrollo de cada una de las fases se realiza la puesta en marcha completa de todos los elementos empleados, para ello se lleva a cabo el templado de un vidrio y posteriormente se hace el análisis correspondiente en el laboratorio de calidad de la empresa, si presentará algún problema de calidad se deben hacer los ajustes correspondientes para que el proceso funcione de manera correcta. Cada que se desarrolla una fase del proyecto, ésta se prueba con los elementos eléctricos y mecánicos correspondientes lo que facilita la puesta en marcha del proceso completo.

En primer lugar se diseñan las funciones para el control del sistema de transporte del vidrio, al desarrollar esta fase se arrancaron los motores y variadores de velocidad correspondiente y se hace la prueba del funcionamiento de cada una de las mesas que involucran el traslado del vidrio. A diferencia de esta prueba que se realiza al terminar la programación de la función, en la puesta en marcha cada uno de los sistemas de transporte cuenta con una mayor carga, ya que en ésta parte se colocan todos los rodillos que permiten trasladar el vidrio.

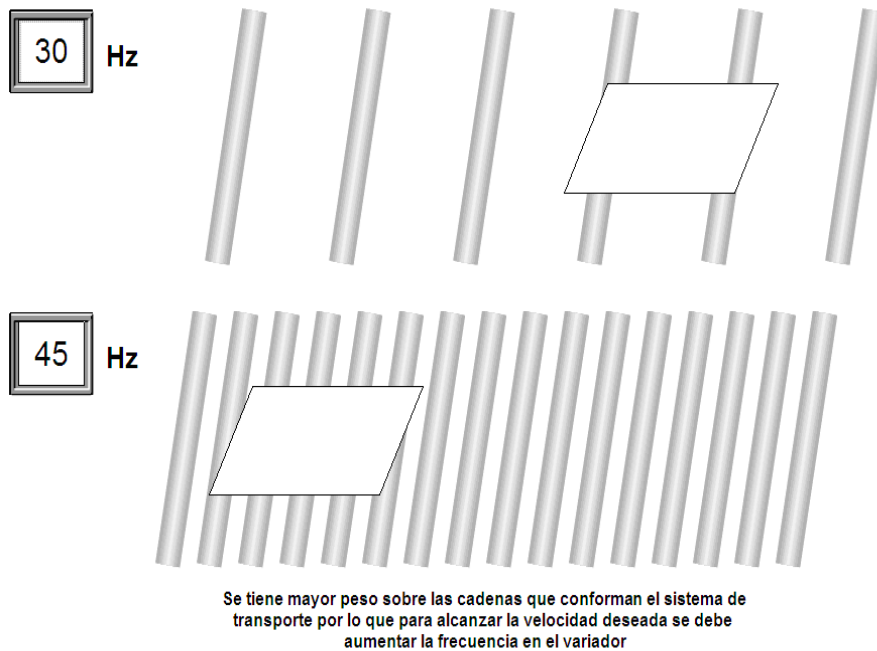


Figura 8.1 Ajuste de la frecuencia a la que debe girar el variador.

Lo anterior hace que se deban ajustar algunos parámetros respecto a la frecuencia de giro del variador ya que la velocidad con la que se traslada el vidrio es diferente al tener todos los rodillos que con sólo alguno de ellos. Dichos ajustes se realizan dentro del sistema SCADA en la sección de ajustes del sistema donde se pueden modificar tanto el valor de la frecuencia a la cuál se debe hacer la oscilación del vidrio en la mesa principal como la frecuencia que se debe utilizar al realizar un traslado a la siguiente mesa.

Al ya estar templando un vidrio también se debe revisar el correcto funcionamiento de los aspersores que se encuentran en la parte superior de la cápsula de calentamiento; en este caso al programar la función de los aspersores estos nunca se encendieron al no estar listas las válvulas en el momento de la programación, únicamente se revisó el encendido de las salidas digitales en el controlador. En la puesta en marcha se verifica el accionamiento exacto de cada uno de los 8 aspersores del sistema de acuerdo a la posición del o los vidrios que se encuentren dentro de la cápsula de calentamiento, y el tiempo que deben permanecer encendidos.

El siguiente paso es verificar el correcto funcionamiento del sistema de enfriado, en primer lugar se deben revisar los cambios en la frecuencia, esta prueba se efectúa verificando el control del motor por medio del variador de velocidad. Dentro de la puesta en marcha se verifica que los cambios en la frecuencia se reflejen en la correcta presión ejercida sobre las caras del vidrio, dicha prueba se hace utilizando un dispositivo de medición con el que se revisa la presión del sistema de enfriado.

Una de las necesidades de la empresa es el ahorro de energía por lo que, al realizar la puesta en marcha, se debe revisar cuál es el consumo de energía que presenta la variación de la frecuencia del motor de 600 HP con lo que, después de analizar los valores obtenidos, se realizan los ajustes de tiempos de las rampas de aceleración y desaceleración.

Respecto a la cápsula de calentamiento se verifica su función de control con el calentamiento inicial de la cápsula, para ello se debe revisar el correcto funcionamiento de los lazos de control de las resistencias encargadas del calentamiento.

8.1 Valores de proceso.

Muchos datos se introducen por medio del sistema SCADA, pero además en cada etapa se generan datos que sirven para analizar el proceso y se tienen que

almacenar en una base de datos para futuras consultas, por lo que se debe tener en todo momento una intercomunicación entre el SCADA y el sistema de control.

El sistema de visualización presenta dos tipos de información primordiales, uno son los datos para ajustar los valores de tiempo, temperatura, *setpoints* para obtener la mejor calidad en el producto; el otro son las recetas donde el operador carga una serie de datos de acuerdo a la producción que debe realizar durante su turno.

La comunicación entre el PLC y el sistema SCADA se realiza por medio de un enlace Ethernet TCP / IP, donde tanto la IP del controlador como la IP de la computadora deben pertenecer a la misma red. Al no ser el SCADA del mismo fabricante se deben realizar distintos ajustes respecto a la configuración del controlador, slot y bastidor al que pertenece, para lograr comunicarlo con el PLC y se debe hacer el mapeo de las señales de manera manual a través del direccionamiento absoluto de las mismas.

El sistema de visualización elegido debe permitir generar diversas recetas que ayudan al operador a cargar, de manera rápida y eficiente, la información necesaria para el tipo de vidrio que debe templar, de acuerdo a la hoja de trabajo del día en curso. Valores como la cantidad de vidrios que pueden estar en la cápsula o las presiones de enfriamiento y las posiciones de los elementos mecánicos del Quench, de acuerdo al tipo de vidrio que se debe templar, son los datos incluidos en dichas recetas.

Por lo tanto, dicho sistema debe ser capaz de almacenar toda esta información en una base de datos. El sistema SCADA elegido en una fase previa de éste proyecto no presenta una base de datos y no tiene funciones dedicadas para trabajar con recetas en su sistema básico. Esto deriva en que se deba implementar de forma adicional la base de datos requerida.

Por ello se tiene que diseñar una base de datos en MySQL a través de programación en Visual Basic para poder almacenar los datos correspondientes a la información básica del proceso para la producción, este desarrollo se realizó antes de la automatización del horno por lo que no es parte de este trabajo.

Las recetas se generan por medio de registros y elementos, donde los elementos son los insumos y los registros el producto terminado. En este caso se tiene como producto terminado al vidrio templado, ya sea plano o curvo, y grueso o delgado, y como insumos la posición del Quench, las presiones para el enfriado, la temperatura de la cápsula, entre otros.

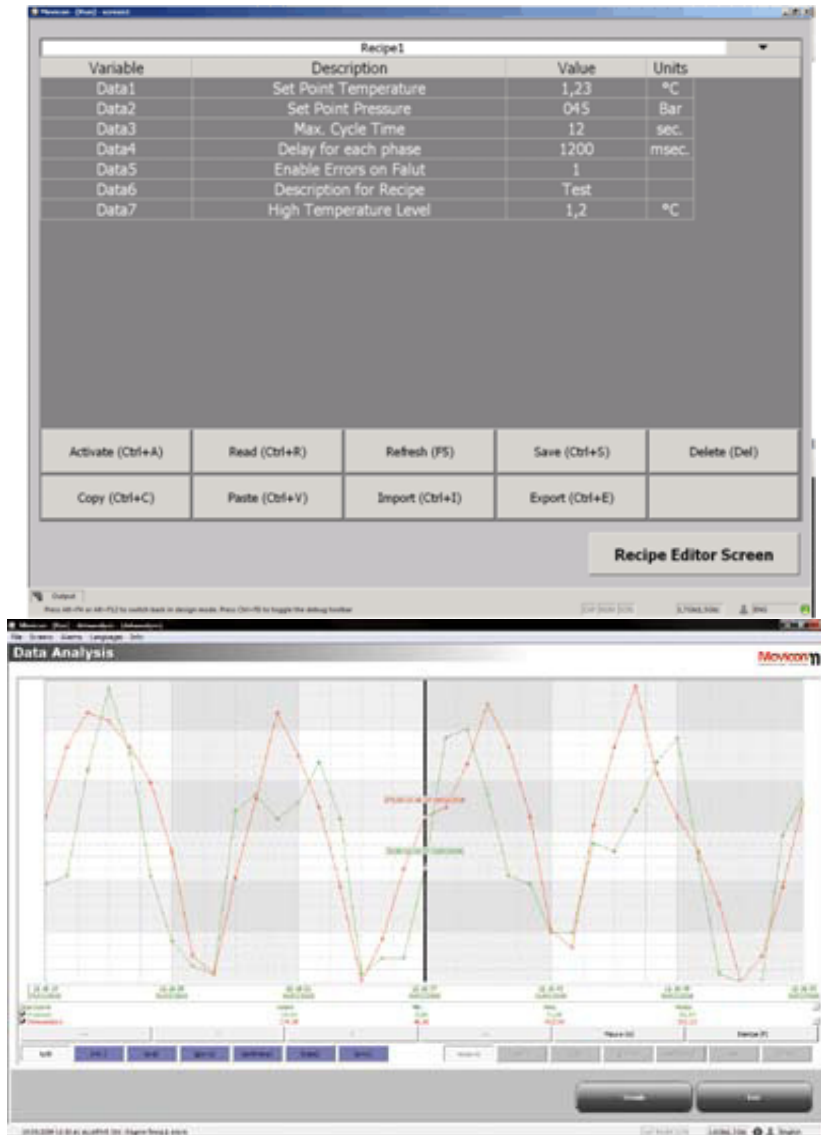


Figura 8.2 Ejemplos de recetas y tendencias en software SCADA Movicon.

La intención de hacer recetas es facilitarle al operador la introducción de información al inicio de su turno o al cambiar de producto, de tal modo que él sólo tenga que elegir el tipo de vidrio que debe producir, para que toda la información almacenada sea cargada y posteriormente transferida al controlador.

Además de las recetas, la base de datos se diseña para poder utilizar la información almacenada con el fin de obtener información estadística sobre el proceso, es importante conocer cómo se desarrolla la producción y poder obtener estos datos en ciertos periodos para un mejor análisis; por ejemplo, saber el promedio de temperatura que se presentó en la cápsula de calentamiento durante el día o durante la semana.

El análisis de toda esta información generada dentro del proceso sirve para dar un mejor mantenimiento del mismo y obtener una mejora continua, con esto es posible obtener los valores ideales para que la producción se dé con mejor calidad y el costo del producto sea el menor posible, evitando fisuras en alguna de las caras del vidrio.

Conclusiones.

La tarea de automatización implica la programación de diversas funciones que atañen a distintos elementos eléctricos y mecánicos. Aún teniendo el conocimiento sobre las herramientas de programación cada proyecto de automatización es un nuevo aprendizaje ya que no todos los procesos industriales son similares. Adicionalmente se debe tener noción sobre el funcionamiento de dispositivos que realizan las acciones directamente sobre el proceso como motores, variadores de velocidad, señales analógicas y digitales, etc. Por lo tanto se llevan a la práctica los conocimientos empíricos sobre programación de controladores y se adquieren nuevos conocimientos acerca de elementos mecánicos y eléctricos y de cómo efectuar funciones de control sobre ellos.

El objetivo principal es la automatización de un horno de templado de vidrio con el fin de aumentar la productividad de una empresa, dicho objetivo es logrado en su totalidad al realizar la automatización de cada una de las fases que involucran el templado de un vidrio. Cada una de estas fases se programa de manera independiente pero siempre considerando la interacción con otras fases, finalmente la integración de ellas permite lograr el objetivo principal. Razón por la cual se muestra a continuación la conclusión de cada fase.

Uno de los primeros aspectos del proyecto fue delimitar el tiempo de ejecución del mismo, aunque al final no se cumplió dicha distribución ya que fue necesario desarrollar funciones adicionales que a pesar de ser consideradas desde el comienzo del proyecto no se encontraban totalmente definidas, de tal modo que el cronograma final del proyecto se muestra a continuación.

tareas de forma independiente y posteriormente irse integrando para obtener así el correcto funcionamiento de cada fase y al final de todo el horno de templado.

Este documento habla acerca de las tareas de automatización, pero el proyecto completo requiere de diversos elementos que se desarrollan en paralelo a la programación de las funciones de control, como el armado de los tableros correspondientes para el controlador, los variadores y las resistencias. Además se hicieron las correspondientes conexiones de los motores y elementos que afectan el movimiento de las partes mecánicas del Quench o para el accionamiento de los aspersores. Estas acciones son ajenas a la tarea principal de la automatización del horno de templado, pero no de menos importancia, el participar de manera indirecta en ellas se obtienen conocimientos relevantes sobre estas áreas para futuros proyectos.

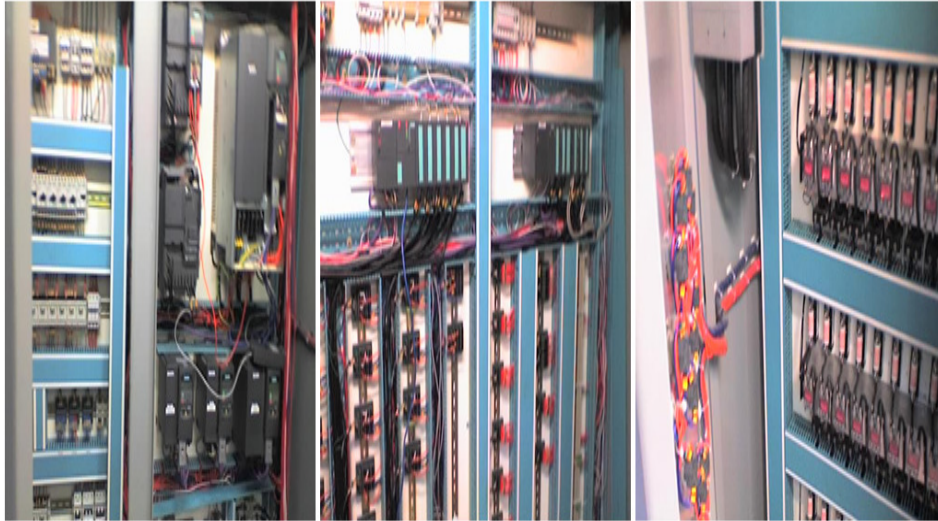


Figura 9.2 Cuarto de control, tableros.

El sistema de transporte de vidrio cumple con los objetivos primarios de trasladar el vidrio a lo largo del proceso, se mejora el diseño inicial al implementar funciones de supervisión que evitan movimientos innecesarios como el caso en el que no existe ningún vidrio a trasladar. Por lo tanto la automatización de esta fase además de controlar el movimiento de las bandas transportadoras verifica el funcionamiento adecuado de cada mesa de transporte cumpliendo todos los requerimientos especificados.

La función de enfriado programada permite que la presión de aire sea ejercida en ambas caras del vidrio y en conjunto con la función de calentamiento otorgan

la rigidez necesario para obtener un vidrio de seguridad de alta calidad, con ello se observa que estas funciones son las primordiales para lograr el objeto primordial, la obtención de vidrio templado.

El sistema SCADA elegido presenta ciertas desventajas que retrasan el proyecto, por ejemplo la comunicación con el controlador de forma directa, la generación manual de valores y el no contar con una base de datos integrada. El objetivo del proyecto se basa en la automatización y no en el diseño por lo que la elección de los equipos necesarios para lograr este fin queda fuera del alcance. El emplear el sistema de visualización del mismo fabricante del PLC, reduce significativamente las funciones de interacción entre los mismo, debido que permite integrar ambas tareas en un mismo programa de automatización.

Al hacer un análisis del funcionamiento de la línea de producción se observó que integrar funciones adicionales, como una herramienta de diagnóstico de alarmas y mantenimiento de la máquina o el acceso a la aplicación desde otro punto vía Web, son ideales para el proceso.

Como mejora del proceso, es recomendable sustituir el SCADA actual por el SCADA de Siemens para obtener mejoras considerables, hacer este cambio no implica una mayor reingeniería puesto que el sistema de visualización se puede integrar dentro del proyecto del controlador con lo que la comunicación y la generación de variables de proceso se realiza de forma automática. Este sistema además cuenta con una base de datos Microsoft SQL 2005, adicionalmente se puede integrar una aplicación para consultar la base de datos vía Web y generar reportes desde otra computadora que esté en red con el servidor utilizando únicamente Internet Explorer. Con esta herramienta se puede tener monitoreo y control del proceso de manera remota.

Respecto a la necesidad de mantenimiento se puede integrar una función que permite tomar la configuración de hardware establecida en el controlador para identificar y diagnosticar cualquier eventualidad que pueda surgir de manera inmediata y de forma visual conservando la estructura planteada, de tal modo que el tiempo de respuesta a un paro no deseado sea mínimo, adicionalmente permite generar una orden de mantenimiento para llevar así un histórico de los desperfectos que se presenten y qué operador atiende estos eventos.

Sin embargo, todo proceso industrial requiere renovación ya que todos los dispositivos eléctricos y electrónicos se actualizan constantemente brindando la posibilidad de tener una mejora continua.

Al terminar el proyecto y comenzar a realizar pruebas sobre la calidad del templado se observan algunos puntos que pudieran ser mejorados en un futuro utilizando herramientas tecnológicas más avanzadas como la posibilidad de integrar esta línea de producción a un sistema MES (Sistema de Ejecución de Manufactura).

El ideal de la empresa respecto a sistemas automatizados es evitar tener un área destinada a inventarios muy grandes, ya que llevar la logística de éstos implica grandes costos que afectan directamente al costo final del producto.

De tal modo que, en un sistema totalmente automatizado, se espera que en cuanto llegue la orden de compra por una cierta cantidad de vidrios, automáticamente ésta se cargue en el sistema SCADA y comience la producción de ese tipo de vidrio en la cantidad deseada, con el fin de reducir los costos de almacenaje

Es cierto que se cumplen las necesidades básicas planteadas en el objetivo principal, poder templar un lote de vidrios de diferentes formas y grosor, pero como se explica en párrafos anteriores, el proceso puede mejorar para brindar más herramientas para así poder tomar las mejores decisiones respecto como hacer el proceso más eficiente y con mejor calidad, o para conocer en que parte del proceso requieren invertir en nuevas tecnologías.

Referencias.

- Fichas Técnicas 2.3 Tema: Vidrio Templado
Vidrio Termo endurecido Vidresif.
[http://files.vidresif.com/documentacio_tecnica/fitxes_producte/vidre_tr
empat.pdf](http://files.vidresif.com/documentacio_tecnica/fitxes_producte/vidre_tr
empat.pdf)
24/febrero/2009.
- Seguridad. Vidrio templado: Características, fabricación y aplicaciones.
Powered by AHC Microsistemas.
http://ahc.kre-at.com/interes/vidrio_templado.htm#vid_templado
25/febrero/2009.
- Folleto Controladores Simatic.
Siemens AG Noviembre 2007.
- Convertidores de Frecuencia MICROMASTER 410/420/430/440.
Siemens AG Catálogo DA51.2 2006.
- Revista Contacto
Publicación de Schneider Electric Argentina SA. No. 54, Año 16,
Septiembre 2005.
- Ayuda de funciones estándar.
SP5 Escalar valores (SCALE): FC105.
Software Step7 V5.4.
- Ayuda de funciones estándar.
Regulación de temperatura continua con el FB 58 "TCONT_CP"
Software Step7 V5.4 SP5

Índice de tablas.

Tabla 3.1 Características de trabajo de la CPU 317-2 PN/DP. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x. Datos técnicos.....	19
Tabla 3.2 Número de temporizadores, contadores y bloques para almacenar información. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x. Datos técnicos	22
Tabla 3.3 Cantidad de señales que se pueden utilizar. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x. Datos técnicos	22
Tabla 3.4 Interfaces de comunicación con otros dispositivos. S7-300 CPU 31xC y CPU 31x, Datos técnicos.....	23
Tabla 4.1 Condiciones para acceder a cada combinación de la mesa principal.....	40
Tabla 4.2 Condiciones para acceder a cada combinación de la mesa Quench.	51
Tabla 6.1 Representación de los bytes del tipo de datos Date and time.	90
Tabla 7.1 Tarifas regionales por consumo de energía eléctrica Enero 2008.	92
Tabla 7.2 Valores a sumar de acuerdo a cargas y botón de paro de emergencia.....	97
Table 7.3 Ejecución de la función smart después de 10 ciclos con 3 cargas.....	98

Índice de figuras.

Figura 2.1 Vidrio templado de tipo arquitectónico	7
Figura 2.2 Vidrio de seguridad para autobuses, la empresa produce medallones para Volvo.....	9
Figura 2.3 Horno de templado horizontal.....	10
Figura 2.4 Quench. Sistema de enfriado a presión.....	11
Figura 2.5 Etapas del proceso de templado.	14
Figura 3.1 Arquitectura general del proceso a automatizar.	17
Figura 3.2 Relación memoria y tiempo de ejecución de las CPU's de la familia S7-300. Folleto Controladores Simatic, Siemens AG Noviembre 2007.	20
Figura 3.3 Pirámide de automatización.	26
Figura 3.4 Herramienta de configuración de Hardware. Arquitectura del Horno de Templado.....	27
Figura 3.5 Controlador, módulos analógicos y digitales.	28
Figura 3.6 Variadores de Velocidad Micromaster 440.....	29
Figura 3.7 Análisis de tiempos necesarios para cada tarea.....	31
Figura 4.1 Diagrama de movimientos del sistema de transporte.	34
Figura 4.2 Puesta en servicio rápida. Micromaster 440 Instrucciones de uso.	37
Figura 4.3 Oscilaciones en la mesa principal.....	39
Figura 4.4 Programación de las combinaciones en AWL.	41
Figura 4.5 Combinaciones a partir de la oscilación.	41
Figura 4.6 Combinación 2, movimiento de la banda a la derecha.	42
Figura 4.7 Combinación 1, cambio en el sentido de giro de la banda.	43
Figura 4.8 Combinación 3, decremento de reversas para conocer próximo movimiento del sistema de transporte.	44
Figura 4.9 Activación de aspersores por medio de comparación de posiciones.	46
Figura 4.10 Temporizador para cada aspersor.	47
Figura 4.11 Función para sincronizar el movimiento del sistema de transporte.	48
Figura 4.12 Obtención de velocidades a partir de la velocidad en la mesa principal.	50

Figura 4.13 Diagrama de oscilaciones dependiendo de la presión requerida para el templado.	51
Figura 4.14 Programación para acceder a las combinaciones.	52
Figura 4.15 Estado o combinación en cualquier punto de la oscilación.....	52
Figura 4.16 Incremento de la posición actual y activación de la mesa de salida.	53
Figura 4.17 Activación del motor con la velocidad de preposición.	54
Figura 4.18 Inicio de movimiento de la banda de salida.	55
Figura 4.19 Función para detener el movimiento de la banda comparando la posición con un límite definido.	56
Figura 5.1 Sistema de ventilación y Quench.	57
Figura 5.2 Funciones de encendido y apagado del sistema de enfriamiento.	59
Figura 5.3 Funcionamiento del variador dependiendo del estado elegido.....	60
Figura 5.4 Sistema de enfriado para un vidrio delgado.....	61
Figura 5.5 Sistema de enfriado para un vidrio grueso.....	62
Figura 5.6 Rampas lineales para el templado de vidrio grueso o delgado.....	62
Figura 5.7 Rampas escalonadas para el templado de vidrio grueso o delgado.....	64
Figura 5.8 Funcionamiento del tiempo de Delay.	66
Figura 5.9 Opciones para el tiempo de Delay.	67
Figura 5.10 Rampas para el templado de vidrio delgado.	68
Figura 5.11 Rampas para el templado de vidrio grueso.	68
Figura 5.12 Incrementos o decrementos cada segundo.	69
Figura 5.13 Función para calcular la pendiente de las variaciones de la frecuencia. Función programada en formato lista de instrucciones.....	71
Figura 5.14 Estados del Quench para el enfriamiento de un vidrio delgado.....	72
Figura 5.15 Partes mecánicas del Quench.	73
Figura 5.16 Posición de las ventilas en el Quench y conveyor.....	74
Figura 5.17 Funciones de arranque y paro del movimiento de la Y. Función para indicar que el movimiento del Quench terminó.....	75
Figura 6.1 División del horno por zonas.	76
Figura 6.2 Relación de porcentaje de los grupos de resistencias.	77

Figura 6.3 Función para el encendido de cada zona.....	78
Figura 6.4 Función de los grupos de cada zona.	79
Figura 6.5 Ajustes para los tiempos de encendido de las resistencias para cada zona.	80
Figura 6.6 Ajustes para las tarjetas de señales analógicas. Hardware Configuration – Step7.....	83
Figura 6.7 Función para escalar señales analógicas.	84
Figura 6.8 Bloque de datos para cada lazo de control.	85
Figura 6.9 Algoritmo PID para el bloque de lazo de control.	86
Figura 6.10 Respuesta inicial en el margen del tiempo.....	86
Figura 6.11 Bloques PID y regulación para cada termopar. Ajuste de tiempo de encendido para cada grupo de resistencias.	88
Figura 7.1 Diagrama de flujo de cambio de horario.....	93
Figura 7.2 Funciones para bloqueo o desbloqueo del sistema.	94
Figura 7.3 Diagrama de flujo de la función de enfriado inteligente. Se considera al botón de paro de emergencia como un contacto normalmente cerrado.	96
Figura 7.4 Representación de las zonas que permiten conservar el calor.	99
Figura 7.5 Encendido de las resistencias con respecto al tiempo.....	100
Figura 8.1 Ajuste de la frecuencia a la que debe girar el variador.....	101
Figura 8.2 Ejemplos de recetas y tendencias en software SCADA Movicon.	104
Figura 9.1 Diagrama de tiempos real del proyecto.	107
Figura 9.2 Cuarto de control, tableros.	108