

## 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.

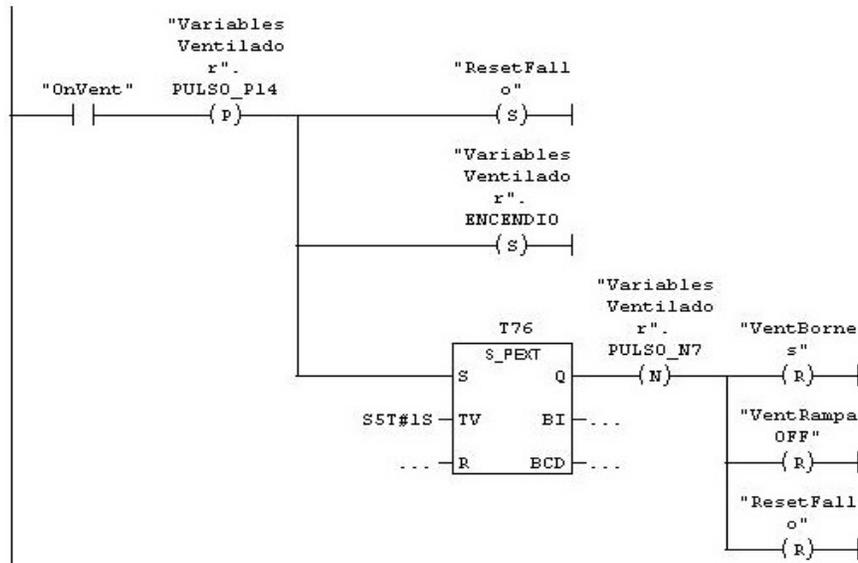
### **5.1 Comunicación con un variador de velocidad Schneider.**

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

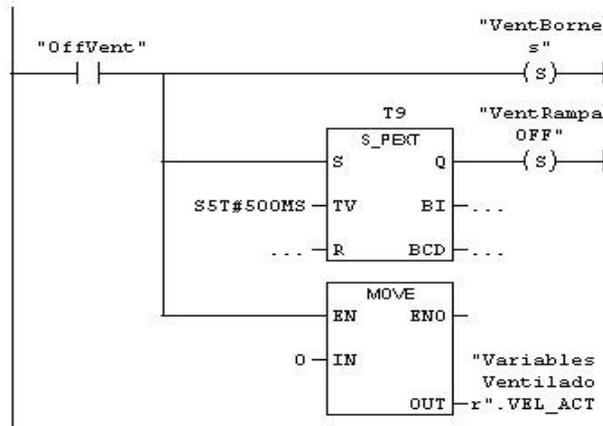


Figura 5.2 Funciones de encendido y apagado del sistema de enfriamiento.

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.

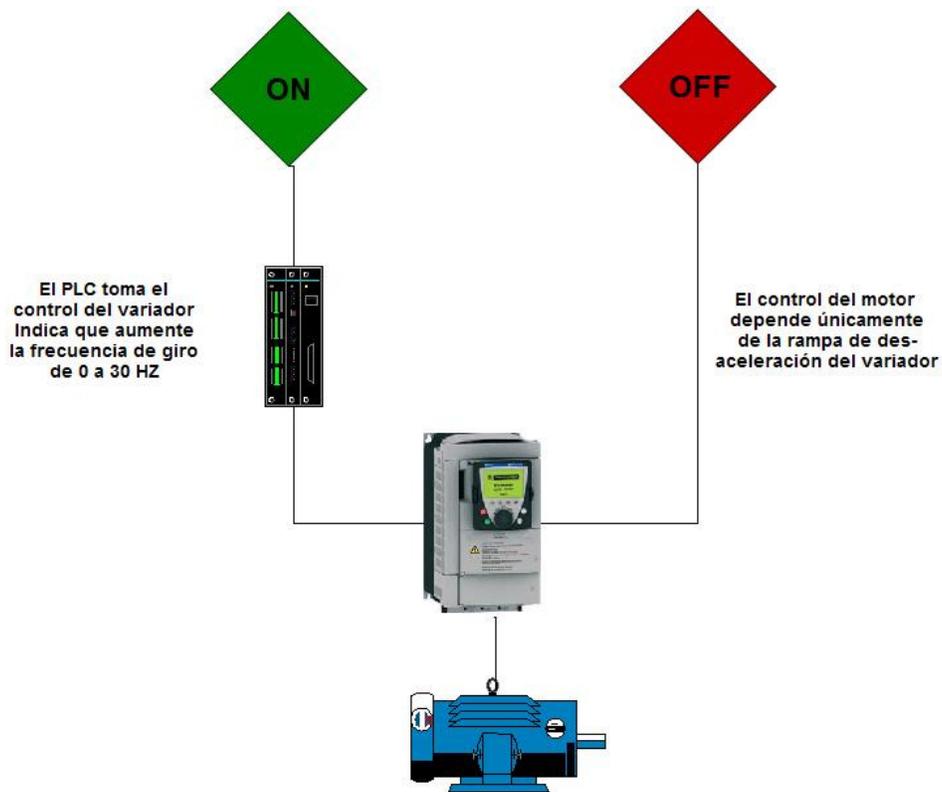


Figura 5.3 Funcionamiento del variador dependiendo del estado elegido.

## 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.

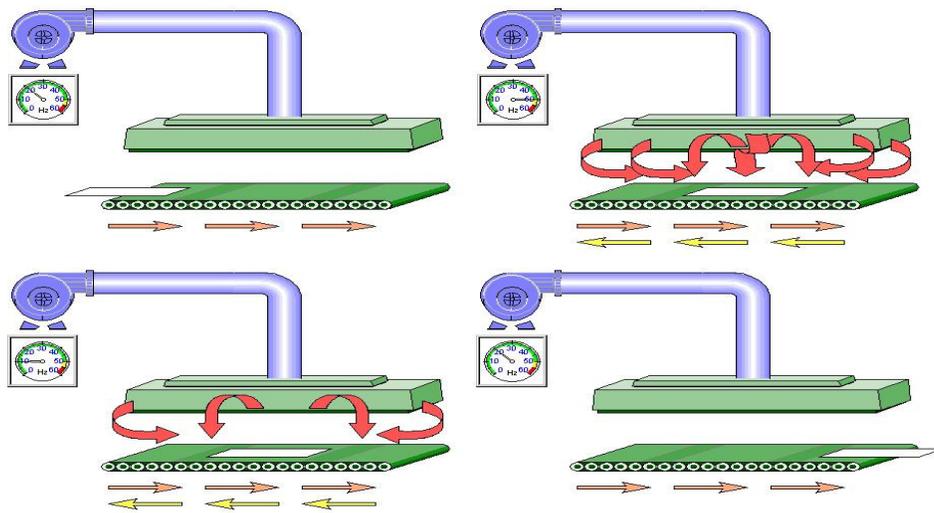


Figura 5.4 Sistema de enfriado para un vidrio delgado.

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.

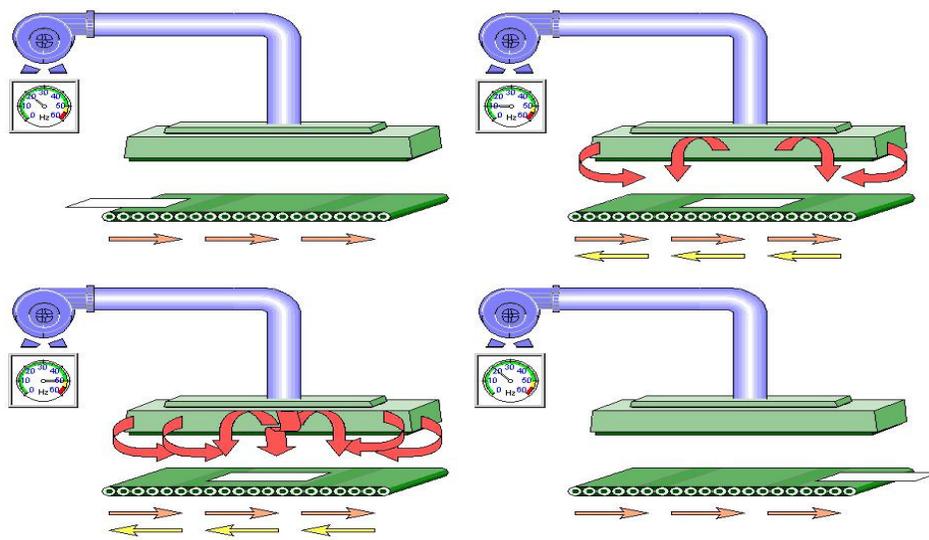


Figura 5.5 Sistema de enfriado para un vidrio grueso.

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.

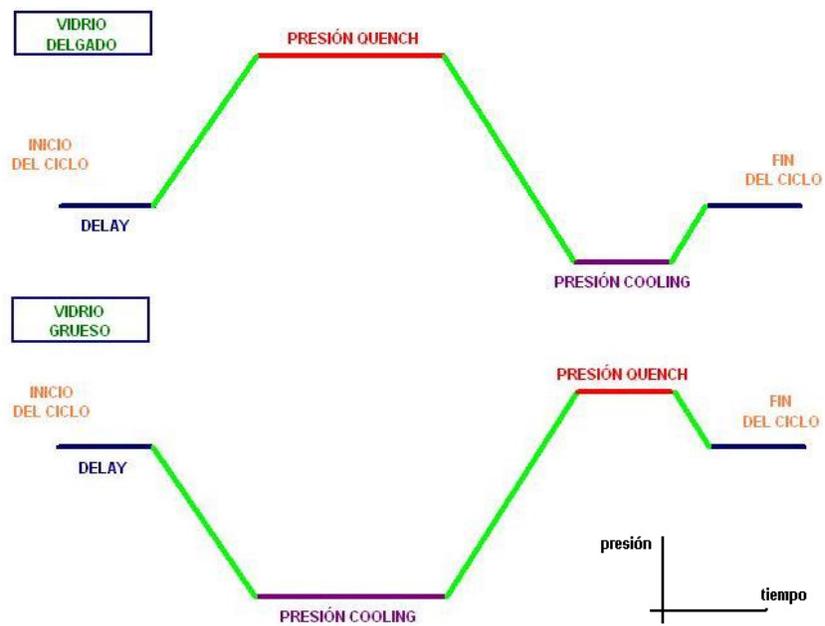


Figura 5.6 Rampas lineales para el templado de vidrio grueso o delgado.

### **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.

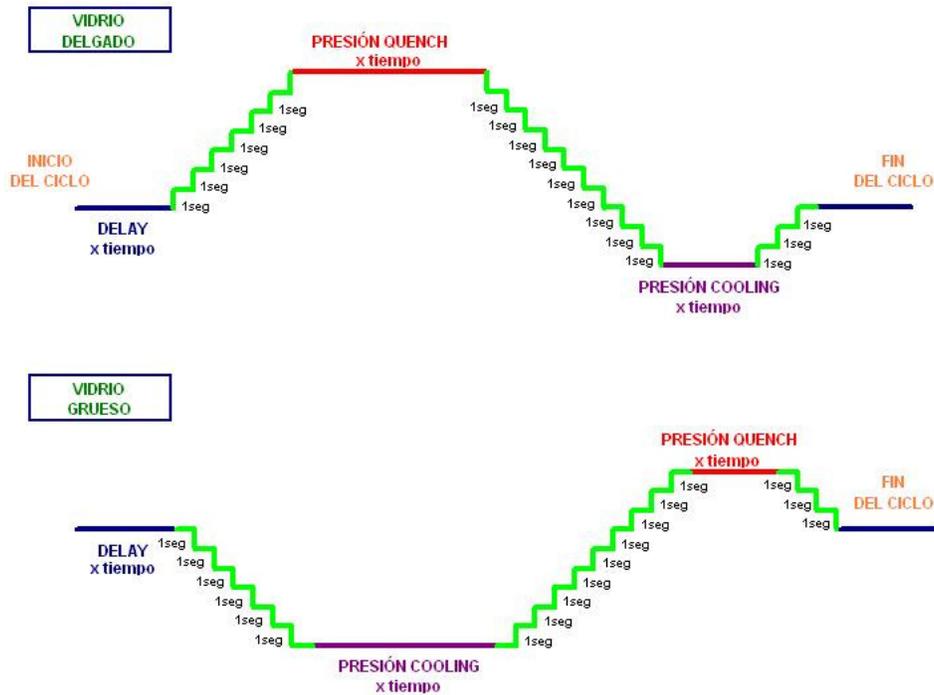


Figura 5.7 Rampas escalonadas para el templado de vidrio grueso o delgado.

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.

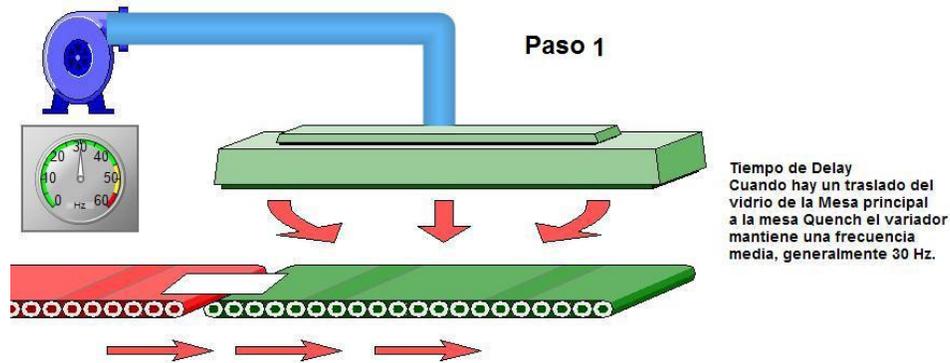


Figura 5.8 Funcionamiento del tiempo de Delay.

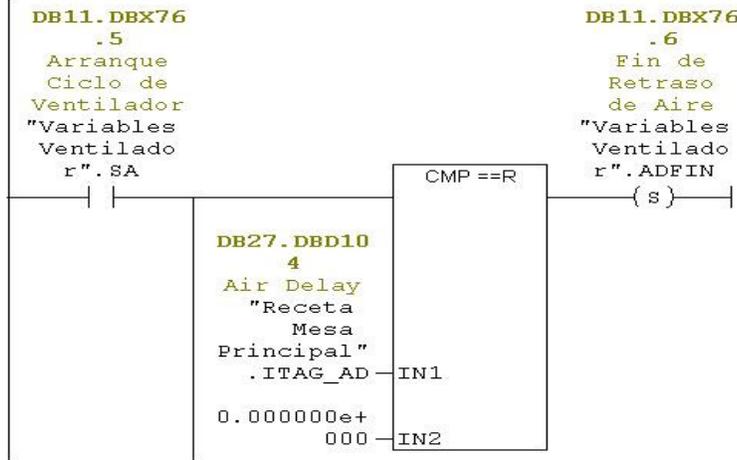
Cuando el operador prefiere no definir un tiempo de espera el controlador revisa que la señal que indica el comienzo del ciclo (SA) esté activa, luego compara la variable de Delay con cero y si son iguales activa la señal correspondiente para proseguir con el accionamiento del siguiente temporizador 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

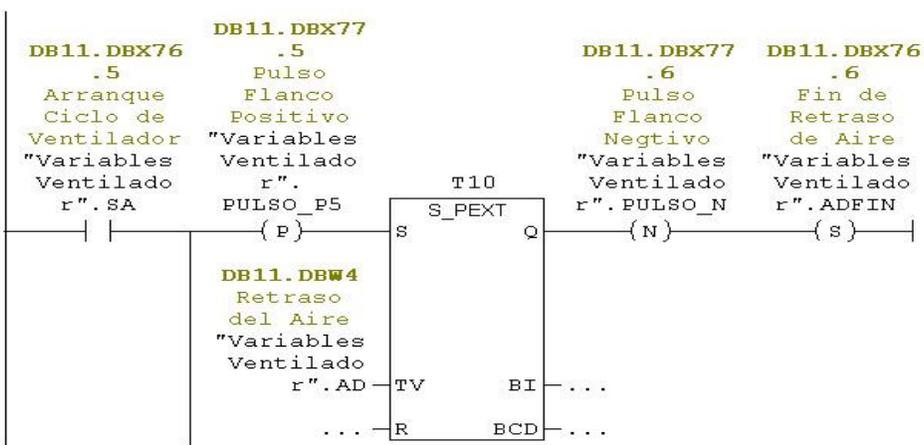


Figura 5.9 Opciones para el tiempo de Delay.

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.

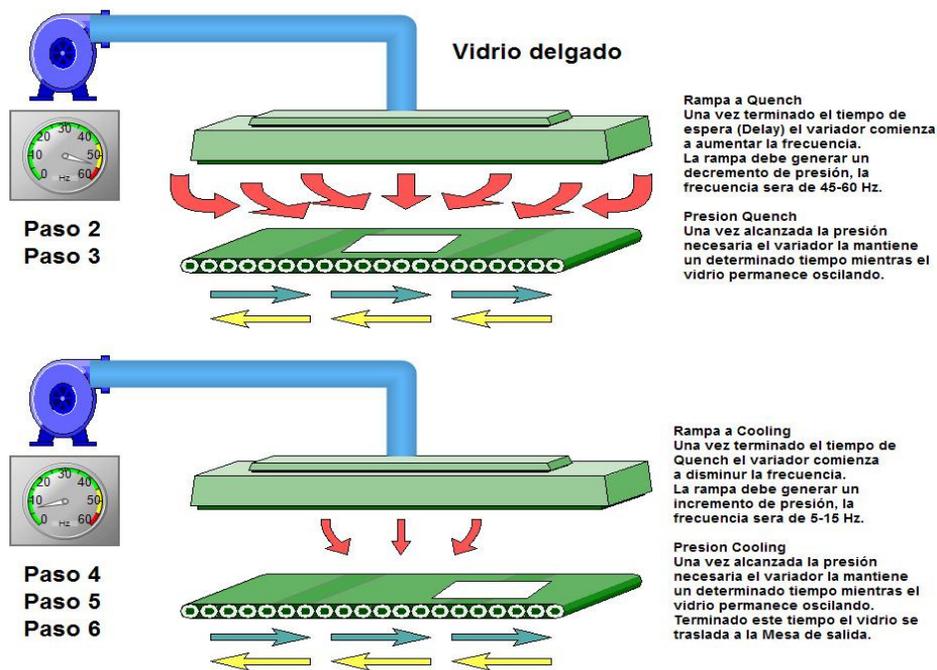


Figura 5.10 Rampas para el templado de vidrio delgado.

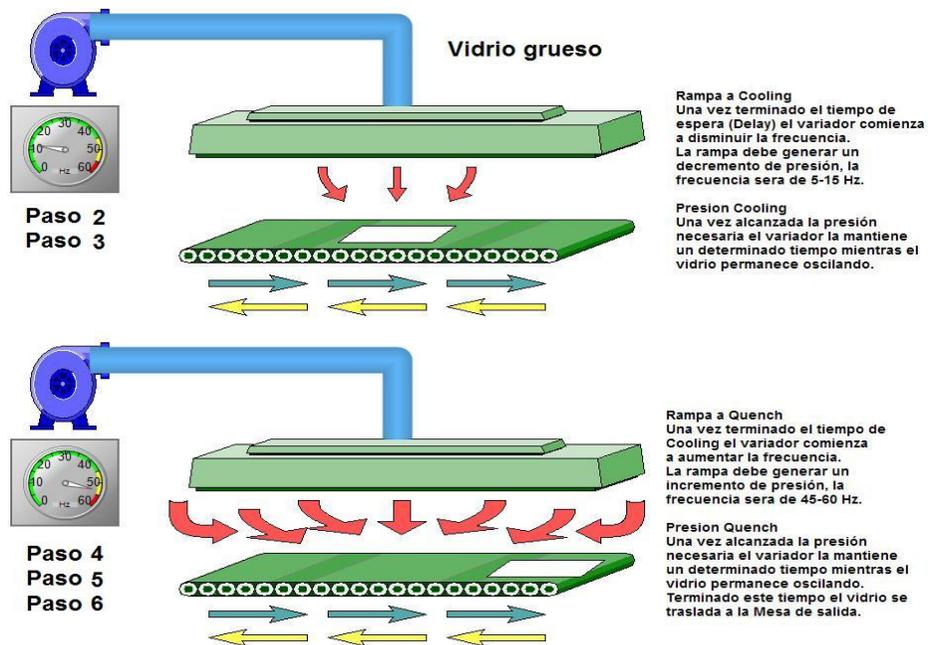


Figura 5.11 Rampas para el templado de vidrio grueso.

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.

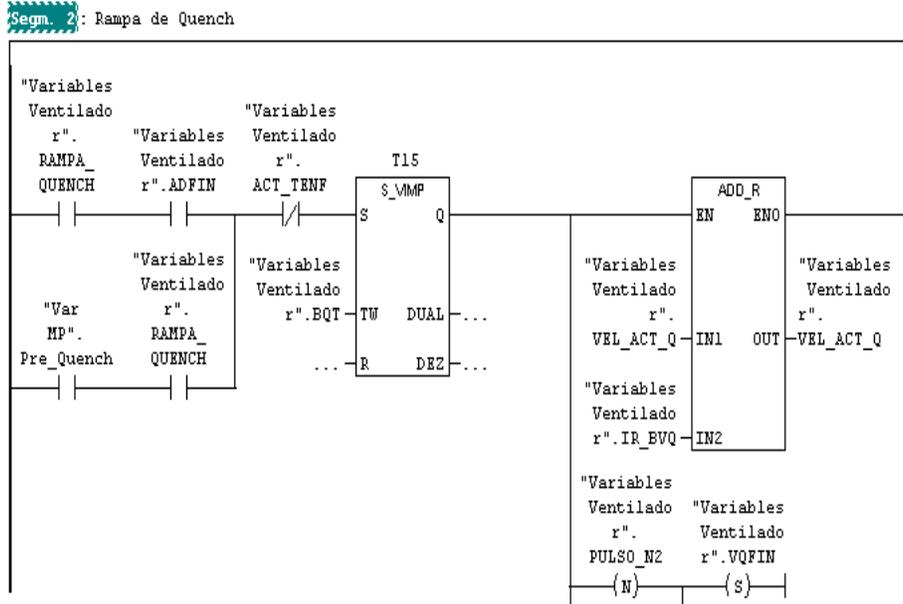


Figura 5.12 Incrementos o decrementos cada segundo.

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

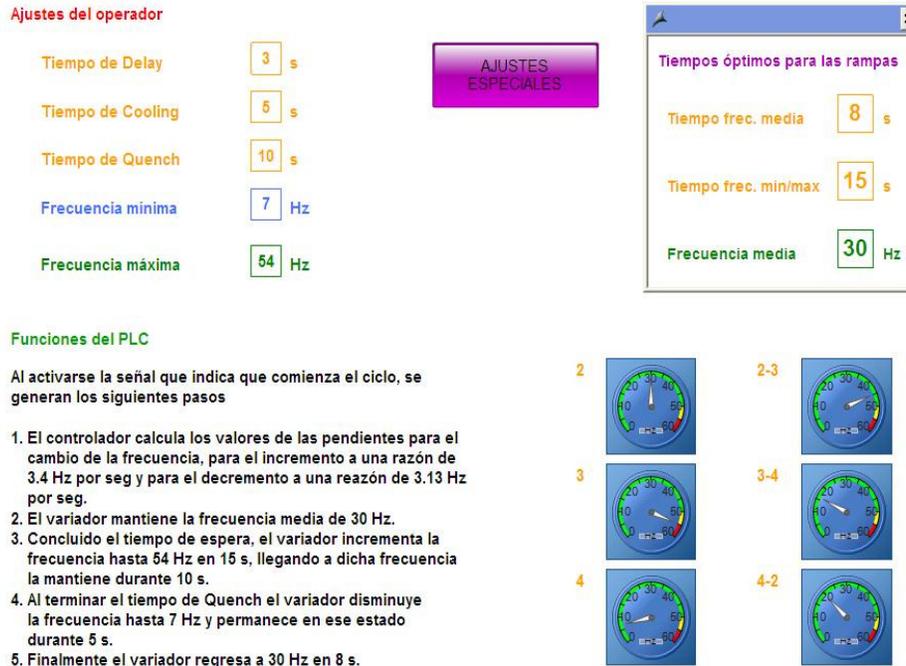


Figura 5.14 Estados del Quench para el enfriamiento de un vidrio delgado.

## 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.

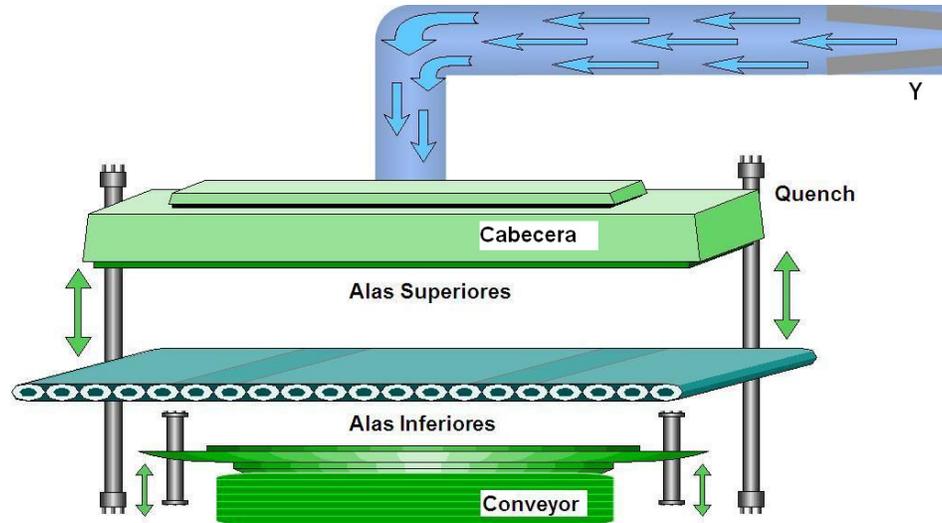


Figura 5.15 Partes mecánicas del Quench.

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.

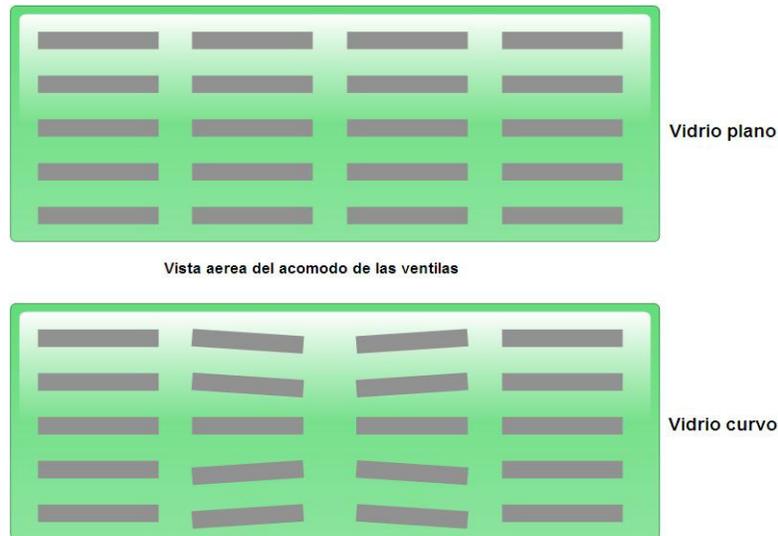
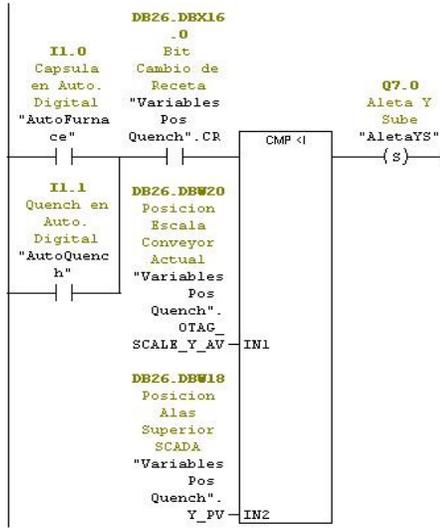


Figura 5.16 Posición de las ventilas en el Quench y conveyor.

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.

Segm. 19 : Gato Y UP Digital



Segm. 20 : Gato Y STOP Digital

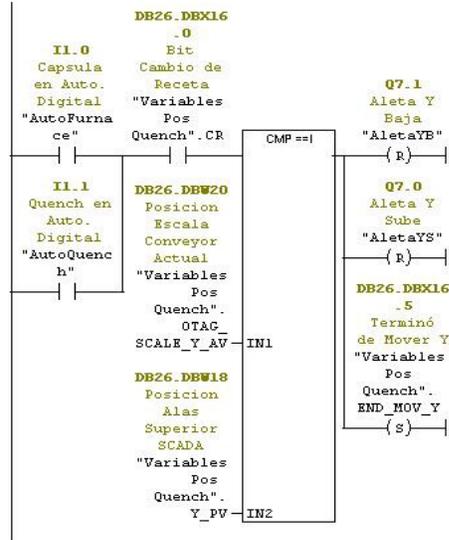


Figura 5.17 Funciones de arranque y paro del movimiento de la Y.  
Función para indicar que el movimiento del Quench terminó.