

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.

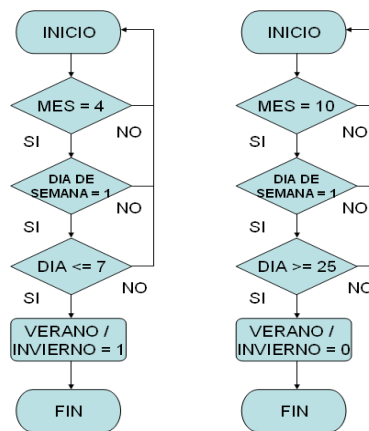
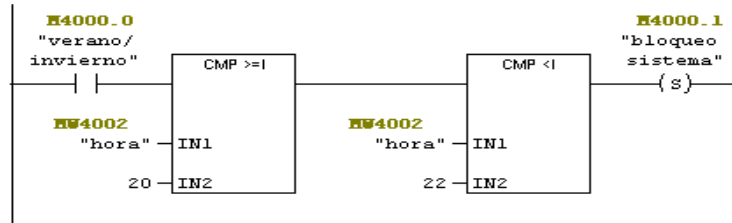
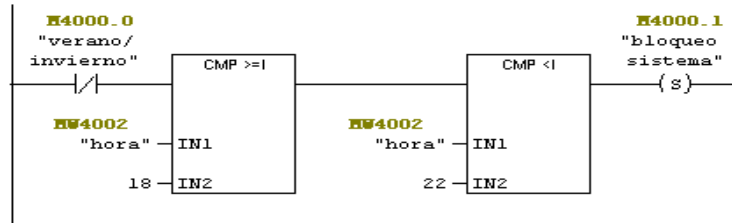


Figura 7.1 Diagrama de flujo de cambio de horario.

Segm. 1: bloquear sistema verano



Segm. 2 : bloquear sistema invierno



Segm. 3 : desbloquear sistema invierno

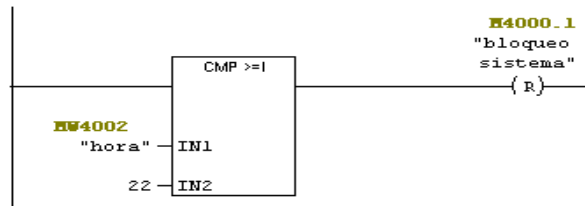


Figura 7.2 Funciones para bloqueo o desbloqueo del sistema.

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.

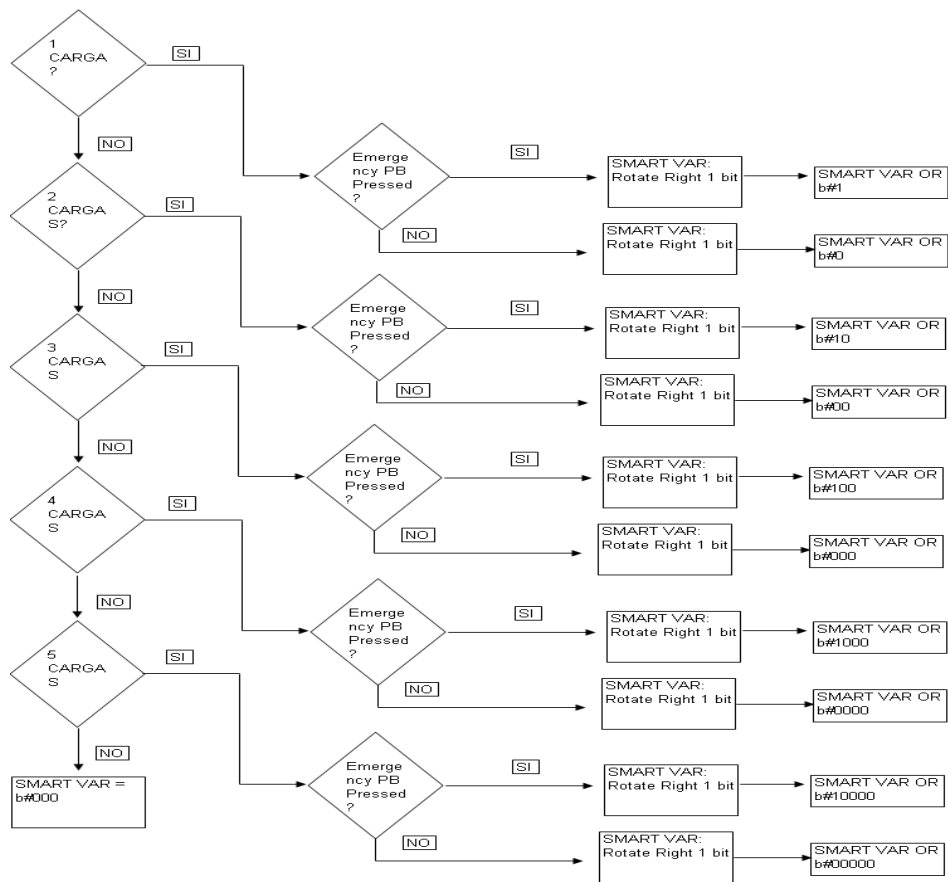


Figura 7.3 Diagrama de flujo de la función de enfriado inteligente. Se considera al botón de paro de emergencia como un contacto normalmente cerrado.

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 cuál 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,

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.

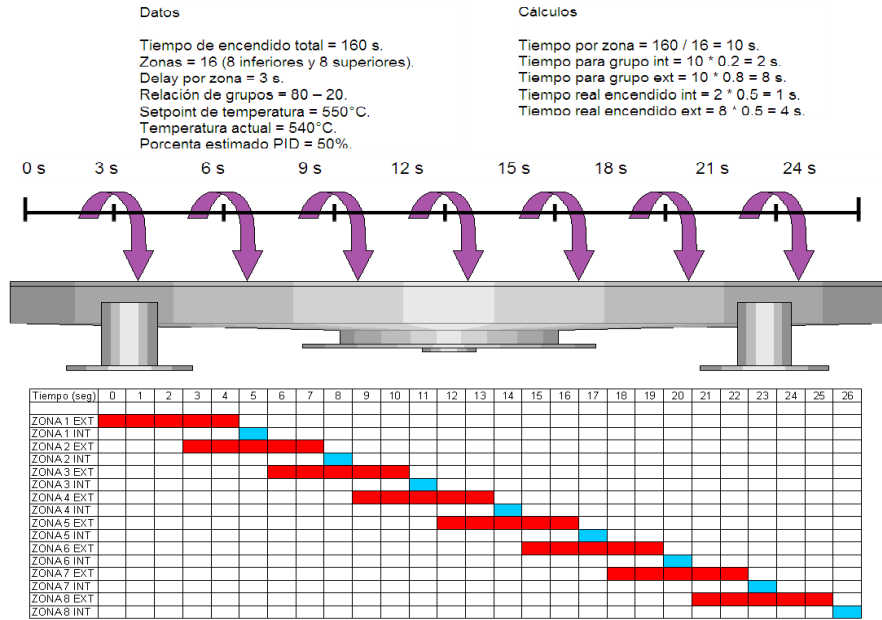


Figura 7.5 Encendido de las resistencias con respecto al tiempo.

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.