



SISTEMA DE SUPERVISIÓN TERMOMÉTRICO DE UN FRIGORÍFICO

Jorge Torres, José Hernández

Instituto Tecnológico, Universidad de Atacama, Av. Copayapu 485, Copiapó, Chile.
jorge.torres@uda.cl

RESUMEN

Se desarrolló un Sistema de Supervisión Termométrico del frigorífico de una empresa agrícola de la Región de Atacama con el fin de mejorar la calidad de los productos elaborados y contar con información confiable y oportuna para la toma de decisiones. Debido a la gran cantidad de temperaturas que se deben monitorear automáticamente con una tasa de actualización de un segundo, se consideró multiplexar las temperaturas provenientes de los túneles, cámaras de prefrío y antecámaras del frigorífico e ingresarlas a un Controlador Lógico Programable para ser demultiplexadas y escaladas a sus valores en su respectivo rango de medición. Esta estructura de adquisición de datos permitió utilizar solo un Autómata Programable de tipo compacto y dos módulos de entradas analógicas para todo lo propuesto. Además, una interfaz gráfica permite visualizar las variables de proceso, el sentido de circulación del aire, la indicación de las columnas más frías y la presentación de información de forma tabular y gráfica con la posibilidad de generar reportes.

Palabras Claves: Automatización, termometría, PLC, SCADA.

ABSTRACT

We developed a Thermo-metrical Monitoring System of the refrigeration of an agricultural company of the Region Atacama, in order to improve the quality of manufactured products and obtain reliable information for decision making. Due to the large number of temperatures to be monitored automatically in a rate of a second, we considered to multiplex the temperatures from the tunnels, the pre-freezing chambers and the refrigeration chambers to register them in a Programmable Logical Controller to be demultiplexing and scaled in order, according to their respective measuring range. This data acquisition structure, allowed us to use only a compact Programmable Automata and two analog input modules to accomplish the objectives. In addition, a graphical interface permits us to visualize the process variables, the direction of airflow, the indication of colder columns and the presentation of information in tabular and graphic forms to be able to generate reports.

Keywords: Automation, thermometry, PLC, SCADA.

1. INTRODUCCIÓN

La labor del muestreo de temperaturas de frutas en el frigorífico implicaba que un operario ingresara a cada túnel y tomara las muestras de cada pallets testigo por medio de un termómetro digital con punta para pinchar, en los intervalos de tiempo según el programa de enfriamiento. Este programa indica que cada una hora se debe realizar el registro de temperaturas de enfriamiento y que se debe realizar un muestreo cada treinta minutos si la temperatura ingresa al rango de 0 a 3°C. Además, se debe llevar un registro de la humedad relativa de las cámaras de pre-frío la cual debe estar a un mínimo de 85%.

Para mejorar la producción, se propuso incorporar un Sistema de Supervisión Termométrico que permita obtener un registro automático de estas variables en intervalos de tiempo de un segundo de manera de mejorar la trazabilidad y calidad del producto y contar con información oportuna para la toma de decisiones. Como la cantidad de variables analógicas del proceso es alta, la adquisición de esta información implica contar con una importante cantidad de módulos de ampliación para entradas analógicas conectadas a un Controlador Lógico Programable (PLC), o más de uno (debido a las limitaciones de estos con los módulos de ampliación [5]). Por otra parte, como el tiempo de actualización de las variables es de un segundo, es posible realizar la multiplexación [4] de las entradas analógicas, disminuyendo considerablemente

la cantidad de módulos de ampliación y por consiguiente, la utilización de solo un PLC para el tratamiento de la información, su demultiplexión y escalamiento [2] de valores. Al tener toda la información del proceso en el PLC, se puede realizar la comunicación con un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) [3] para que por medio de una interfaz grafica se puedan visualizar las variables de interés del frigorífico.

2. MATERIALES Y METODOS

Para poder tener la información del proceso desplegada en la interfaz grafica del SCADA se consideró instalar en los túneles de pre-frío la cantidad de 12 sondas por contarse con sistema de inversión de pallets por compuertas. De estas sondas, 6 están por el lado interior del pallet y las otras 6 por el lado posterior de manera de registrar la temperatura en el proceso de inversión de enfriamiento.

En las cámaras de mantención se consideran 4 sondas de temperatura de pulpa para los puntos críticos que son fondo y principio de cada cámara. A continuación, la tabla 1 resume los instrumentos del sistema como sensores de temperatura ambiente para cada una de las cámaras, antecámara y túneles, sensores de estado de puerta y sensores de humedad relativa.

Tabla 1. Cantidad de sensores utilizados para el monitoreo de variables.

	Sensores de T° ambiente	Sensores de T° de pulpa	Sensores de estado de puerta	Sensores de humedad relativa
Cámara 1	1	4	1	1
Cámara 2	1	4	1	1
Túnel 1	1	12	2	-
Túnel 2	1	12	2	-
Túnel 3	1	12	2	-
Túnel 4	1	12	2	-
Antecámara	1	-	2	-
Total sensores	7	56	12	2

Debido a la gran cantidad de señales analógicas que se tienen que monitorear, que son en total 65 (los sensores de estado de puerta son señales discretas [2]), se consideró multiplexar estas señales con el propósito de utilizar un solo PLC modelo S7-200, CPU 214 con dos módulos de ampliación de entradas analógicas EM-235 y un sistema SCADA WinCC todos de la marca Siemens.

El multiplexor utilizado permite conectar 16 entradas de tipo RTD y entrega una señal análoga de 4-20 mA, que va conectada a los módulos de expansión de entradas análogas EM-235. Como cada modulo tiene 4 entradas

analógicas, se ocupan 2 módulos de expansión en el PLC. El primer modulo contiene las señales proveniente de los 4 multiplexores (lo cual hace un total de 64 entradas RTD multiplexadas) y el otro modulo recibirá las señales de los transmisores de humedad relativa y temperatura ambiente de las cámaras. La tabla 2 muestra la distribución de conexionado utilizado para cada multiplexor y su entrada asociada identificada funcionalmente [3].

Tabla 2. Conexión de cableado de los multiplexores.

Entrada	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4
1	TE100-0	TE200-0	TE300-0	TE400-0
2	TE100-1	TE200-1	TE300-1	TE400-1
3	TE100-2	TE200-2	TE300-2	TE400-2
4	TE100-3	TE200-3	TE300-3	TE400-3
5	TE100-4	TE200-4	TE300-4	TE400-4
6	TE100-5	TE200-5	TE300-5	TE400-5
7	TE100-6	TE200-6	TE300-6	TE400-6
8	TE100-7	TE200-7	TE300-7	TE400-7
9	TE100-8	TE200-8	TE300-8	TE400-8
10	TE100-9	TE200-9	TE300-9	TE400-9
11	TE100-10	TE200-10	TE300-10	TE400-10
12	TE100-11	TE200-11	TE300-11	TE400-11
13	TE100-12	TE200-12	TE300-12	TE400-12
14	TE10-2	TE10-3	TE20-2	TE20-3
15	TE10-1	TE10-4	TE20-1	TE20-4
16	LIBRE	TE50-0	LIBRE	LIBRE

La tabla 3 muestra la distribución de conexionado a lo módulos de expansión analógicos EM-235 ubicados en el PLC.

Tabla 3. Conexiones analógicas al PLC.

Entrada	TAG
AIW0	MUX 1
AIW1	MUX 2
AIW2	MUX 3
AIW3	MUX 4
AIW4	TT1-79
AIW5	MT1-78
AIW6	TT1-76
AIW7	MT1-75

De esta forma se tiene todo conectado a un solo PLC. La comunicación del PLC con el sistema SCADA se realizó mediante cable PC/PPI [Siemens, 2004].

2.1. Distribución de los multiplexores

Cada túnel cuenta con un multiplexor de 16 entradas. Teniendo en cuenta que en cada túnel hay 12 sondas de temperatura de pulpa, quedan 4 entradas del multiplexor disponibles. Como en cada cámara hay 4 sondas de temperaturas de pulpa, estas se han conectado de pares en cada multiplexor, dejando solo 2 entradas libres. De estas, una

es ocupada por un sensor de temperatura ambiente de cada túnel quedando solo una entrada disponible y solo un multiplexor ocupó esta entrada con la sonda de temperatura ambiente de la antecámara tal como se apreció en la tabla 2. Un esquema más grafico se puede ver en la figura 1.

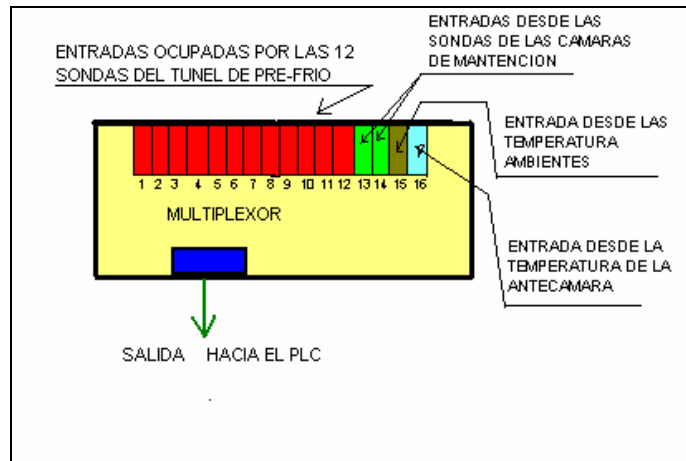


Figura 1. Conexión de sondas al multiplexor.

Como se puede ver, en este multiplexor (multiplexor 2) se ocupa la totalidad de sus entradas. Los demás multiplexores tienen una entrada libre (entrada 16).

Para lograr la multiplexación de cada entrada analógica es necesario hacer conmutar a

éstas según el intervalo de tiempo especificado. La selección de la entrada del multiplexor a utilizar, se realiza mediante la activación de los canales de selección (A, B, C, D), tal como lo muestra la tabla 4.

Tabla 4. Configuración de los canales de selección (A,B,C,D) para la activación de las 16 entradas del multiplexor.

Nº Canal	A	B	C	D
1	OFF	OFF	OFF	OFF
2	ON	OFF	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	ON	ON	OFF	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	ON	OFF	ON	OFF
7	OFF	ON	ON	OFF
8	ON	ON	ON	OFF
9	OFF	OFF	OFF	ON
10	ON	OFF	OFF	ON
11	OFF	ON	OFF	ON
12	ON	ON	OFF	ON
13	OFF	OFF	ON	ON
14	ON	OFF	ON	ON
15	OFF	ON	ON	ON
16	ON	ON	ON	ON

2.2. Programa del PLC

El programa del Sistema de Termometría esta diseñado en lenguaje Ladder [2] por medio del software de programación STEP 7-Micro/WIN V4 E de Siemens.

Para las señales de entrada analógicas de 4 a 20 mA estas son escaladas a sus valores de proceso (temperatura o humedad) debido a que en el PLC estas señales son convertidas

de analógicas a digitales (CAD) en valores de 6400 a 32000 cuentas decimales respectivamente [5].

Para el escalamiento de los multiplexores se tiene en cuenta que la temperatura máxima será 30°C y la mínima de - 5°C. El escalamiento de esta variable queda como lo indica la figura 2.

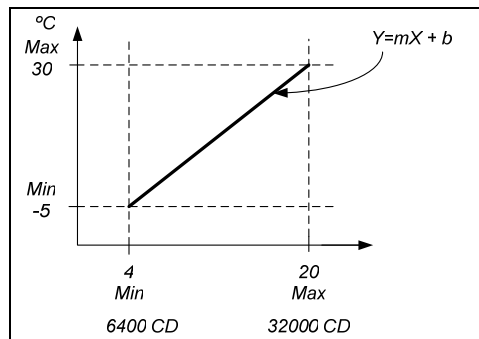


Figura 2. Escalamiento de los multiplexores.

Utilizando la ecuación de la recta se tiene:

$$m = \frac{30 - (-5)}{32000 - 6400} = 0.001367 \quad (1)$$

$$b = -5 - 6400 * m = -13.75 \quad (2)$$

$$\therefore y = 0.001367x + (-13.75) \quad (3)$$

En la figura 3 se ve el escalamiento completo del multiplexor 1 en el programa. Para el resto de los multiplexores los valores son los mismos, solo cambia el canal de lectura (AIW) y las memorias de variables [5] utilizadas.

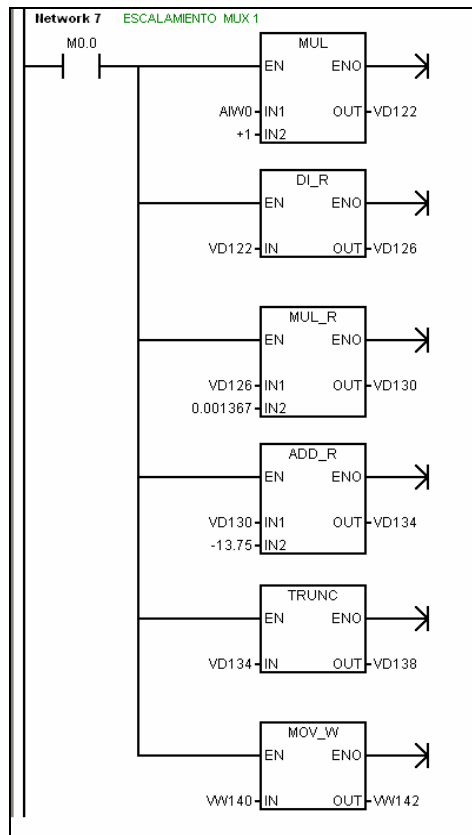


Figura 3. Escalamiento del multiplexor.

Por lo tanto, para este programa de escalamiento las entradas AIW1, 2 y 3 provenientes de los multiplexores 2, 3 y 4 son almacenadas en las memorias de variables VW140, 164, 188 y 212 respectivamente.

ser enviadas a las entradas analógicas del PLC se activaron los canales de selección (A, B, C, D) con intervalos de 0,06 segundos, ya que el tiempo de muestreo de las variables de proceso fue solicitado en 1 segundo. Esto se puede apreciar en la figura 4.

Para establecer la secuencia de conmutación de las entradas analógicas del multiplexor y

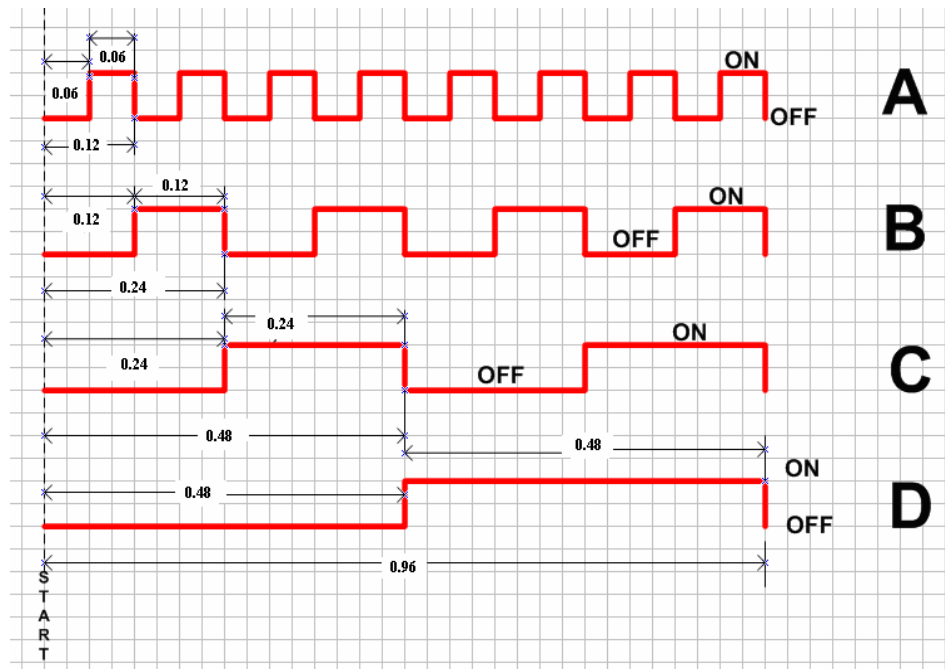


Figura 4. Tiempos de activación de los canales de selección (A, B, C, D).

De la figura 4 se puede deducir que las salidas digitales del PLC que activan los canales de selección tendrán intermitencias de 0.06, 0.12, 0.24 y 0.48 segundos para A, B, C y D respectivamente. Un ejemplo de

esto es la figura 5 donde se muestra la configuración y disposición de los temporizadores para la salida Q0.0 que está conectada al canal A.

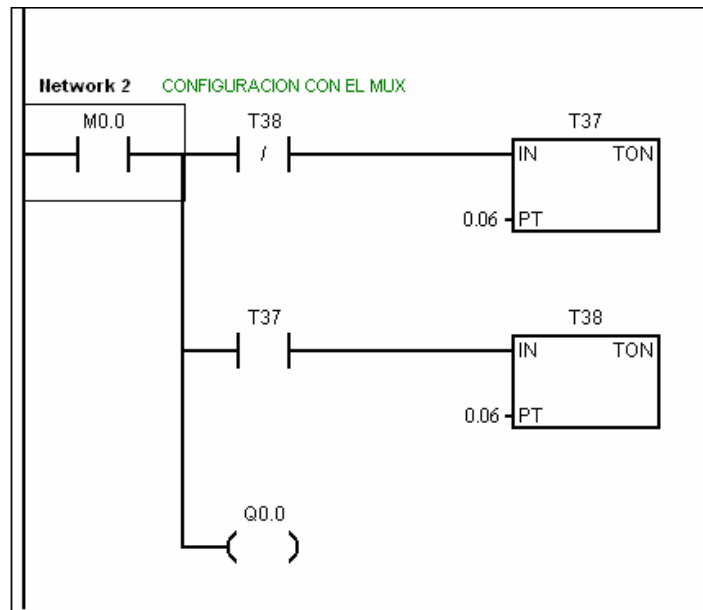


Figura 5. Intermitencia de salida A.

Esta configuración se repite para cada canal de selección B, C y D por medio de las salidas digitales Q0.1, Q0.2 y Q0.3 respectivamente y con los tiempos indicados en la figura 4.

Después de generar las 4 intermitencias en el programa para A, B, C, y D, un contador lleva el registro de la entrada que se esta leyendo del multiplexor por medio de las conmutaciones que realiza el temporizador

que activa la intermitencia en el canal A. Dicho de otra forma, el contador lleva el sincronismo de lectura de los multiplexores a intervalos de 0.06 segundos. Una vez que llega al conteo máximo se reinicia automáticamente tal como lo muestra la figura 6.

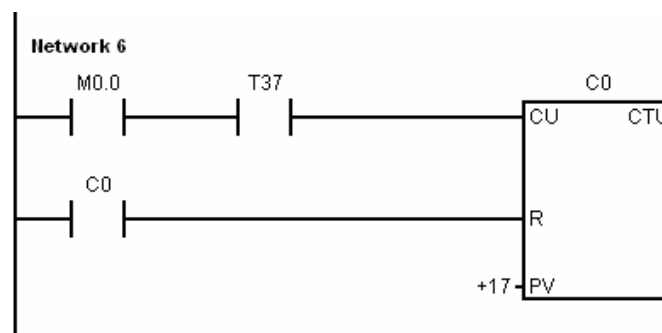


Figura 6. Contador de sincronismo.

Al tener los multiplexores trabajando sincronizados, se guardan los datos de temperatura que envían las sondas RTD a través de los multiplexores al PLC. Cada señal enviada por un multiplexor es

almacenada en una memoria de variables en el PLC que empieza en VV0 para el primer sensor y termina en VW120 al tratarse de 61 sensores conectados a los multiplexores.

Las ordenes para que se guarden los datos en las memorias de variables son realizadas con instrucciones de comparación "igual en enteros" [5] con el valor entregado por el contador de sincronismo. Por lo tanto, existen 16 comparaciones en el programa, que se hacen entre el valor del contador y un

número entero entre el 0 y el 15. Es decir, cuando el contador esté en 0 y se compara con el 0, se crea una lógica verdadera y se guardan los datos de los 4 multiplexores correspondientes a la primera entrada. Esto se ve gráficamente en la figura 7.

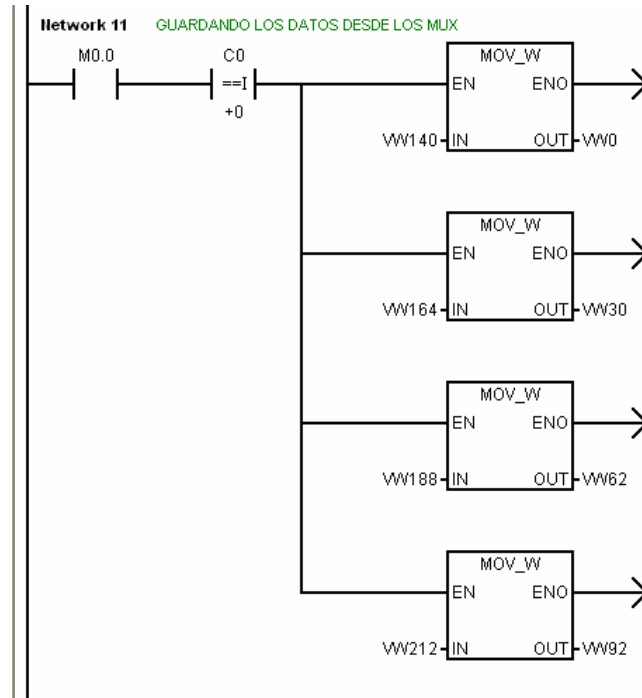


Figura 7. Comparación y almacenamiento de datos.

Como se ve en la figura 7, cuando la comparación se activa, la operación "Transferir palabra" (MOV_W) transfiere las palabras de entradas (VW140, 164, 188, 212) provenientes desde las salidas de los multiplexores y previamente escaladas hacia las memorias de variables establecidas para cada sonda generando así la demultiplexación de señales.

La siguiente parte del programa permite comparar cada lado de los pallets testigos, para registrar que lado se encuentra más frío que el otro. Para esto se utiliza nuevamente la operación "comparar entero", pero esta vez se compara el valor entregado por la sonda del lado externo con el valor de la

sonda del lado interno de un mismo pallet testigo tal como lo muestra la figura 8.

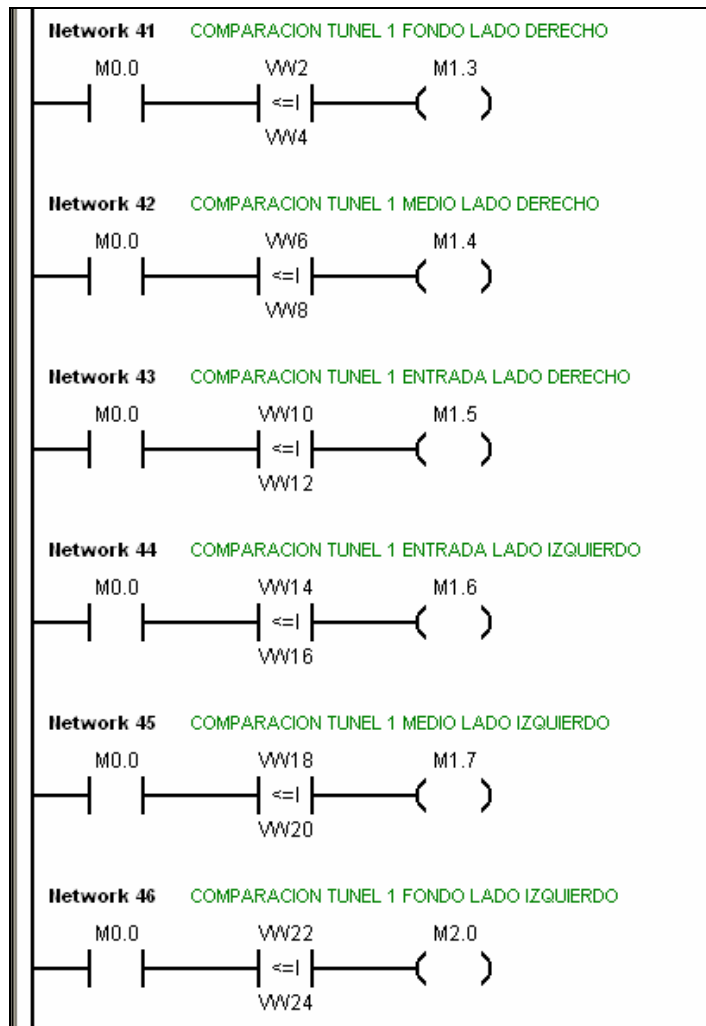


Figura 8. Comparaciones del túnel 1.

Como se puede ver en la figura 8, se hace la comparación individualmente para cada pallet testigo del túnel 1.

3. RESULTADOS

3.1. Interfaz gráfica de supervisión

El desarrollo de la interfaz gráfica de Supervisión del Sistema de Termometría se realizó en el software SCADA WinCC V6 D de Siemens. Estas pantallas permiten visualizar

las variables de interés del proceso, además de tener el registro de estas y sus tendencias.

La pantalla de inicio que se aprecia en la figura 9, entrega la opción de acceder a las cámaras, túneles o antecámara, al hacer clic sobre el botón que corresponda. También tiene un botón SALIR que nos lleva a la pantalla de salida del programa para cerrar la aplicación.



Figura 9. Pantalla de inicio.

Al seleccionar ANTECAMARA aparece la pantalla que se muestra en la figura 10. En esta se puede visualizar la temperatura

ambiente de esta sala; además se pueden ver los estados de la puerta y la rampa de carga de camiones.



Figura 10. Pantalla antecámara.

Al seleccionar CAMARA se despliega la pantalla que se muestra en la figura 11. En esta pantalla se visualizan las temperaturas de las 4 sondas de pinchar que se contemplan para esta sección del frigorífico.

De igual forma, se visualiza la temperatura ambiente de esta cámara y la humedad relativa se observa de forma de reloj análogo. También se puede saber el estado de la puerta de acceso a la cámara.



Figura 11. Pantalla de la cámara 1.

Al seleccionar TUNEL se abre la pantalla que se ve en la figura 12. En esta pantalla se puede visualizar de forma fácil las 12 sondas que fueron contempladas para los túneles y que se encuentran ordenadas una frente a la otra en sus hileras correspondientes de manera de ver la cara más fría de los pallets

testigo. Cabe recordar que los círculos de colores (azul y rojo) que se encuentran al costado de cada sonda, representan visualmente la cara mas fría (azul) de los pallets testigo y la cara mas caliente (rojo) de este mismo.

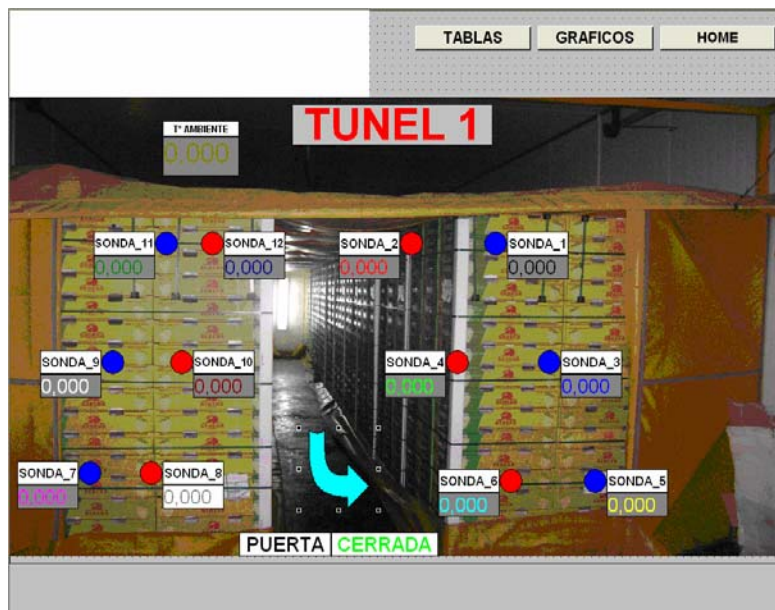


Figura 12. Pantalla de túnel 1.

4. CONCLUSIONES

La implementación del Sistema de Supervisión Termométrico permite optimizar la trazabilidad del producto de exportación, gracias a la toma de registros a una tasa de actualización aceptable para el proceso en si.

La utilización adecuada de elementos de automatización permite modernizar la toma de datos en el proceso, disminuyendo errores y desligando al operador de estas tareas, teniendo un registro de las variables de interés en formato digital y con opciones de impresión para respaldar la información.

Se obtiene una aplicación novedosa de reducción de elementos de adquisición de datos al multiplexar las señales del proceso con elementos de hardware y una demultiplexación de las señales por medio de software.

La entrega de la información en una interfaz grafica en entorno SCADA permite tomar decisiones en forma oportuna, para lograr un producto de calidad según los estándares internacionales vigente.

5. REFERENCIAS

- [1] ARI (Air-Conditioning and Refrigeration Institute). Manual de refrigeración y wire acondicionado, Tomo I, Tercera Edición, Prentice Hall, México, 1999.
- [2] Bryan-Bryan, Programmable controllers, Theory and implementation, 2ª Edición, Industrial Text, 1997.
- [3] Creus, A. Instrumentación industrial, 6ª Edición, Marcombo, 1997.
- [4] Helfrick-Cooper, Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición, 1ª Edición, Prentice Hall, 1991.
- [5] Siemens, Manual del sistema de automatización S7-200, Simatic, 2004.
- [6] Siemens, Manual WinCC, Simatic, 2000.