



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA UNA
PLANTA LIOFILIZADORA INCLUYENDO SU TABLERO DE
CONTROL.”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

FLORES GONZABAY JOEY ORLANDO

JARAMILLO LOOR JORGE LUIS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por haberme dado la salud y la sabiduría para lograr todos mis objetivos.

A mi madre Marcia Gonzabay y a mi padre César Flores Prado por su amor incondicional, su enorme paciencia y por el gran apoyo y afecto, que fueron de ayuda e inspiración para la culminación de esta etapa en mi vida.

Mis hermanos César y Mercedes que fueron de gran ayuda en todo momento.

Joey Orlando Flores Gonzabay

Le agradezco a Dios por haberme guiado en el transcurso de mi carrera y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A mis padres Héctor y Lane por apoyarme en todo momento y por ser ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Héctor y Juan por ser parte importante en mi vida, por ser grandes profesionales, ejemplos y guías para mi crecimiento profesional.

A mi enamorada Estefanía por su apoyo incondicional y ser motivación en mi vida encaminada al éxito.

Jorge Luis Jaramillo Loor

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedicamos a Dios por habernos bendecido con buena salud para poder culminar este proyecto y lograr nuestro objetivo de graduarnos.

A nuestras familias por todos sus buenos deseos y a su apoyo incondicional en el transcurso de la carrera.

Al PhD. Douglas Plaza y al Mg. Franklin Kuonquí por ser guías y colaboradores importantes para la culminación exitosa del proyecto.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Mg. Franklin Kuonquí G.

PROFESOR DE MATERIA
INTEGRADORA

PhD. Douglas Plaza G.

TUTOR ACADEMICO

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Flores Gonzabay Joey Orlando

Jaramillo Loor Jorge Luis

RESUMEN

La liofilización, como proceso de deshidratación en industrias alimenticias para la conservación de alimentos o en industrias farmacéuticas para la conservación de vacunas y medicamentos, ha sido reconocida como una técnica importante en la conservación de productos biológicos, que ha permitido la reducción de la perecibilidad, debido al bajo nivel de humedad que se obtiene luego de terminado el proceso.

La carrera de Ingeniería en Alimentos (FIMCP-ESPOL), presenta el interés por un liofilizador, para la conservación de productos alimenticios analizados durante la investigación para el desarrollo de nuevos alimentos e ingredientes, llevados a cabo por investigadores de la carrera. A partir de esta necesidad, la carrera de Ingeniería Mecánica (FIMCP-ESPOL) diseñará un prototipo de los sistemas mecánicos para la construcción de un liofilizador.

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de automatización para un liofilizador basado en la programación de un PLC en lenguaje de diagrama de funciones y comunicación Profinet con un HMI, incluyendo diagramas eléctricos de fuerza y de control, junto con el diseño de su tablero para el montaje de los periféricos.

En el capítulo 1, se plantea la problemática a resolver y se describen los objetivos del proyecto, junto con el alcance de este.

En el capítulo 2, se detalla la metodología con la que se diseñó el sistema de automatización, partiendo desde el dimensionamiento de conductores y dispositivos de protección, hasta la programación de todo el sistema para el liofilizador.

En el capítulo 3, se desarrolló el análisis de las simulaciones del sistema de automatización, describiendo el correcto cumplimiento de las etapas del proceso y sus validaciones.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
CAPÍTULO 1.....	9
1. DELIMITACION DEL PROBLEMA.....	9
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivo general.....	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 Justificación.	11
1.4 Alcance del proyecto.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
2. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	13
2.1 Levantamiento de Información.	13
2.2 Dimensionamiento y diagramas.	16
2.2.1 Equipos de fuerza.	17
2.2.2 Equipos de control.	18
2.2.3 Diagramas.....	19
2.2.4 Esquema del tablero de control.....	21
2.3 Programación.....	22
2.3.1 Programación de las etapas del proceso.....	23
2.3.2 Programación de la opción de mantenimiento.....	31
2.3.3 Programación de mensajes de aviso en caso de fallo.....	32
CAPÍTULO 3.....	34
3. RESULTADOS.	34
3.1 Simulación de las etapas del proceso	34
3.2 Simulación de la opción de mantenimiento	44
3.3 Simulación de mensajes de fallos.	47

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS	55

CAPÍTULO 1

1. DELIMITACION DEL PROBLEMA.

1.1 Planteamiento del problema.

El interés por este proyecto nace de la necesidad que presenta la carrera de Ingeniería en Alimentos (FIMCP-ESPOL) por un liofilizador, que ayude en la conservación y preservación de productos alimenticios, analizados durante la investigación para el desarrollo de nuevos alimentos e ingredientes, llevados a cabo por estudiantes e investigadores de la carrera. El proceso de liofilización consiste en la deshidratación de alimentos, sometiéndolos a bajas temperaturas y mediante bomba de vacío disminuir la presión, de esta forma se realizará la sublimación del agua contenida en los alimentos.

Puesto que, en el medio local este equipo no es fabricado, la adquisición de este representa altos costos de importación, de ahí que, sin este equipo, los productos e ingredientes a desarrollar no se podrán preservar para futuras investigaciones, por lo tanto, la contraparte de la carrera de Ingeniería Mecánica (FIMCP-ESPOL) diseñará un prototipo del sistema de refrigeración y del sistema de generación de vacío, que forman parte de los sistemas mecánicos del liofilizador.

Debido a que, el prototipo consta únicamente del diseño de los sistemas mecánicos mencionados anteriormente, se tendrá, en el sistema de refrigeración, un compresor que no contará con una protección electromecánica, además de la ausencia de protección a nivel de alta presión. Por otro lado, en la cámara de refrigeración

donde se ingresa el producto no hay medición de temperatura, así como la ausencia de un sistema de control del proceso. Análogamente, en el sistema de generación de vacío, la bomba no tendrá protección electromecánica.

Entonces resulta que, el compresor del sistema de refrigeración y la bomba del sistema de vacío tendrán una vida útil corta, aumentando los costos por mantenimientos y paros en la producción. Por consiguiente, la falta de un sistema de control donde se obtengan las señales de los sensores, para accionar los actuadores mediante señales digitales, impide modificar los estados del proceso, análogamente, no se podrán realizar visualizaciones de las etapas de la liofilización. Por esto, se genera una deshidratación irregular del producto que se ingresa en la cámara.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema SCADA de la automatización de una planta liofilizadora, para el monitoreo y control de las variables del proceso.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento de la planta liofilizadora, para la obtención de las variables y rangos de operación que gobiernan el proceso.
- Diseñar un sistema SCADA de la automatización de una planta liofilizadora para un eficiente monitoreo y control de las variables del proceso.
- Diseñar un tablero de control para el montaje del controlador, supervisor y periféricos.

1.3 Justificación.

En la actualidad todo proceso industrial requiere de un nivel de supervisión más controlado, por lo que se diseñan sistemas de automatización basados en la obtención de variables físicas, mediante instrumentos de medición y sistema de alarmas para preservar la integridad del proceso y brindar soporte al operador para mejorar la toma de decisiones.

Por lo tanto, para el liofilizador, contar con la medición de las señales en cada etapa del proceso, junto a un sistema de control, logra un proceso más seguro, manteniendo las variables en sus rangos de operación, dentro de los sistemas que forman parte del liofilizador, así mismo, alertando al operador de posibles errores durante su funcionamiento y evitando daños en los compresores a nivel del sistema de refrigeración.

Análogamente, se evitan daños por ingreso de partículas de agua en la bomba del sistema de vacío, generando un ahorro económico por pérdida de equipos y, por consiguiente, extendiendo así la brecha entre cada mantenimiento.

Finalmente, se obtendrán alimentos deshidratados, que mantendrán su valor nutricional, conservando aroma y sabor. Incrementando así, la percibibilidad de los alimentos.

1.4 Alcance del proyecto

Para el presente proyecto, se realizará el diseño de un sistema SCADA, con visualizaciones de las diferentes etapas del proceso de liofilización, además, de un control de temperatura por histéresis, para la resistencia térmica del sistema de refrigeración de la cámara de liofilización. Asimismo, el diseño de un tablero de control para el

montaje del controlador, supervisor y periféricos, incluyendo, protecciones electromecánicas del diseño de la trampa de la maquina liofilizadora entregado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica. Finalmente, se efectuará la simulación del sistema SCADA del proceso, mediante PLC y HMI virtual.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA DE TRABAJO.

En el presente capítulo se describe, como mediante la información obtenida sobre el proceso de liofilización, se desarrolló un esquemático, que permitió diseñar diagramas eléctricos de fuerza y de control, para de esta manera finalizar con la programación de una interface que involucra un PLC y un HMI.

2.1 Levantamiento de Información.

La liofilización es un método de deshidratación, que utiliza la sublimación, para eliminar la mayor cantidad de agua contenida en los alimentos. Para este proceso se toma en cuenta tres etapas: congelación, deshidratación primaria y deshidratación secundaria. Donde, la congelación se logra mediante la solidificación del agua contenida en el alimento. De ahí, la deshidratación primaria ocurre al reducir la presión hasta el vacío, permitiendo la sublimación del agua congelada, eliminando hasta el 90% de la humedad. Finalizando con la deshidratación secundaria, que se realiza para eliminar la humedad residual incrementando la temperatura, debido a que el calor para eliminar el agua ligada es mayor que el calor de la sublimación, esta etapa ocurre manteniendo las condiciones de vacío [1].

Por lo tanto, el prototipo del liofilizador, está estructurado en dos partes importantes; la cámara de liofilización donde se ingresa el producto y una cabina denominada “trampa”. Ambas partes se encuentran conectadas mediante una válvula, que se encarga de la división de ambas estructuras en caso de mantenimiento.

Por consiguiente, mediante la unidad de refrigeración de la cámara se estima que el producto alcance $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego mediante resistencia térmica se realice el incremento de temperatura para alcanzar los $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Análogamente, en la trampa se debe alcanzar $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, mediante su respectiva unidad de refrigeración y permanecer en esa temperatura durante todo el proceso. Adicionalmente, la máquina liofilizadora consta de un sistema de vacío, el cual se estima que se obtengan presiones por debajo de 0.61 kPa , en el interior de ambas estructuras, ya que se encuentran conectadas. Debido a la succión de la bomba del sistema de vacío, el vapor de agua que se genera en la cámara de liofilización pretenderá ingresar a la bomba, siendo esto evitado por la trampa.

Es ahí que, con esta información y a partir del diseño mecánico y térmico realizado por estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, se pudo conocer las partes que conforman una liofilizadora y los sistemas que participan del proceso. De esta manera, acorde a los elementos que cuenta el diseño de la liofilizadora, se realizó un P&ID (Diagrama de Tuberías e Instrumentación) que permitió tener una idea más clara para la automatización del proceso. Véase la Figura 2.1 y para mayor detalle ver Tabla 1 en Anexo A1.

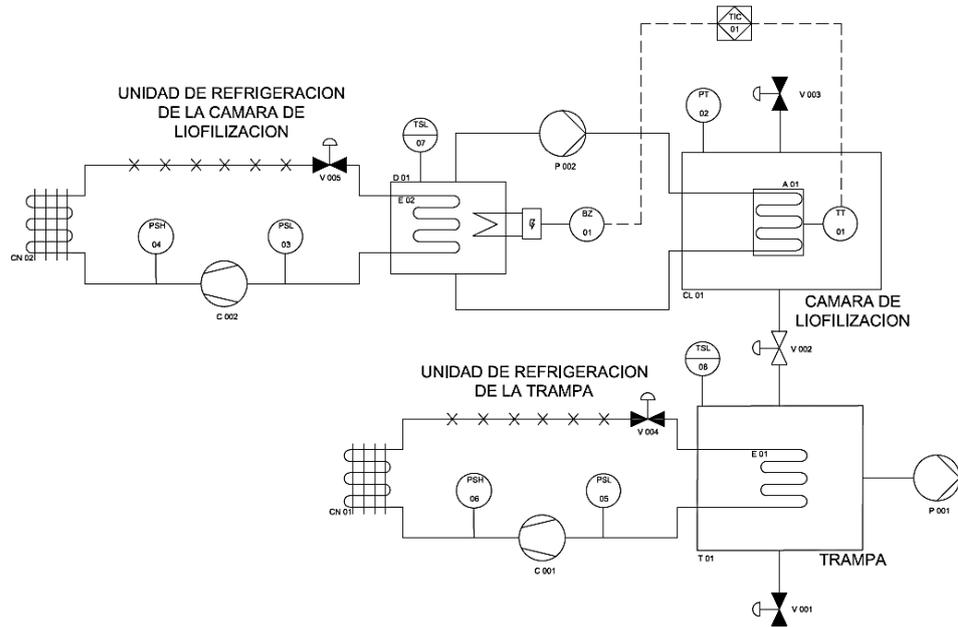


Figura 2.1: Diagrama de Tuberías e Instrumentación, del liofilizador.

Por otra parte, se puede observar en la Figura 2.2 el lazo de control, que se usa para eliminar el agua ligada durante la deshidratación secundaria.

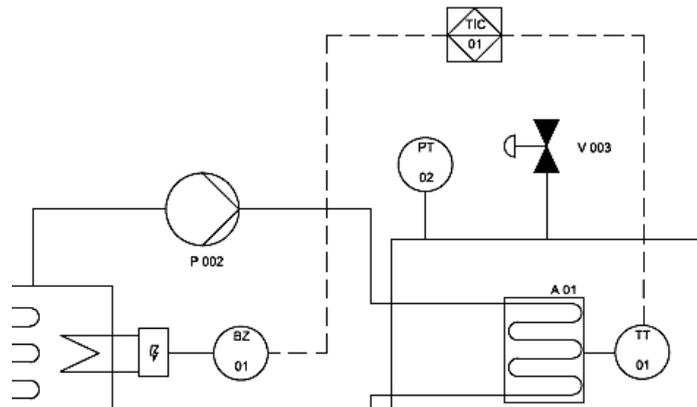


Figura 2.2: Lazo de control.

Es ahí que, para que ocurra la deshidratación secundaria, se realizó un incremento de temperatura, seguido de un control por histéresis durante un tiempo determinado por el operador para mantener la temperatura en un intervalo pequeño de valores, de manera que

estas dos acciones se repitan hasta alcanzar los 30°C, que garantice la eliminación del agua ligada.

A continuación, en la Figura 2.3 se aprecia una gráfica representativa de la temperatura del producto con respecto al tiempo y los instantes en que se realiza el control por histéresis.

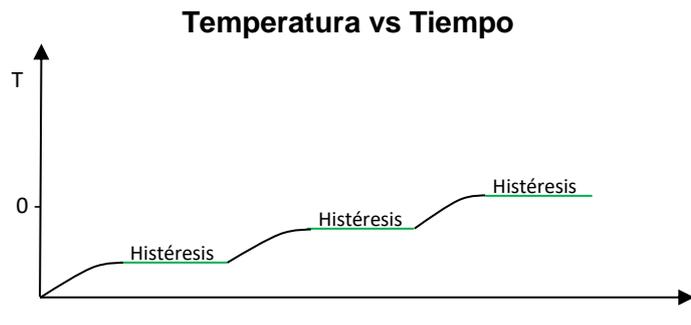


Figura 2.3: Temperatura del producto en la deshidratación secundaria.

2.2 Dimensionamiento y diagramas.

Como se puede apreciar en la Figura 2.1 la liofilizadora cuenta con los siguientes equipos y dispositivos:

- Unidad de refrigeración de la cámara de liofilización (Compresor (C002), ventilador del condensador (Vn2), válvula de “Pump Down” (V005), presostato y termostato).
- Unidad de refrigeración de la trampa (Compresor C001, ventilador del condensador (Vn1), válvula de “Pump Down” (V004), presostato y termostato).
- Bomba de vacío (P001).
- Bomba de circulación (P002).
- Resistencia térmica (RT 01).
- Válvula de desagüe (V001).
- Válvula de conexión (V002).

- Válvula de alivio (V003).
- Transmisor de temperatura.
- Transmisor de presión.

Para los cuales se realizó el dimensionamiento de las protecciones y conductores de los equipos cuyas potencias y datos técnicos fueron proporcionados por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica. Además de las protecciones de los dispositivos de control y supervisión.

2.2.1 Equipos de fuerza.

Unidad de refrigeración.

La unidad de refrigeración cuenta con una caja de conexiones donde se encuentran conectados en paralelo el compresor y el ventilador del condensador. Según los datos de placa el compresor tiene un amperaje de carga nominal de 9.6 A con una tensión de 115 V a una frecuencia de 60 Hz y el ventilador para el condensador con 0.48 A que trabaja con una tensión de 115 V a una frecuencia de 60 Hz.

De acuerdo con el artículo 430.24 del NEC [2] se realizó el siguiente calculo, mediante la ecuación 2.1.

$$I_{Conductor} = (I_{Carga\ mayor} (1.25)) + \sum I_{Carga\ menor} \quad (2.1)[2].$$

$$I_{Conductor} = (9.6 (1.25)) + 0.48$$

$$I_{Conductor} = 12.48\ A$$

Por tanto, se seleccionó el conductor 14AWG-2000V-75°C para la fase, el neutro y la tierra de acuerdo con la Tabla 2 del Anexo A1. Mientras que el dimensionamiento del dispositivo de protección del tipo tiempo inverso, se realizó acorde con el artículo 430.52 del NEC [2], mediante la ecuación 2.2.

$$I_{Dispositivo} = (I_{Carga\ mayor} (2.5)) + \sum I_{Carga\ menor} \quad (2.2)[2].$$

$$I_{Dispositivo} = (9.6 (2.5)) + 0.48$$

$$I_{Dispositivo} = 24.48 A$$

Así pues, se seleccionó un dispositivo de protección de 25 A que es el inmediato superior.

Bomba de vacío.

De acuerdo con los datos de placa, se tiene una alimentación de 115 V a una frecuencia de 60 Hz y una potencia de ½ Hp. De ahí que, acorde con la potencia y tensión de la bomba, según la Tabla 3 del Anexo A1 se tiene una corriente nominal de 9.8 A.

Por consiguiente, mediante el artículo 430.22 del NEC [2] se realizó el siguiente cálculo.

$$I_{Conductor} = (I_{Carga} (1.25)) \quad (2.3)[2].$$

$$I_{Conductor} = (9.8 (1.25))$$

$$I_{Conductor} = 12.25 A$$

De manera que, se seleccionó el conductor 14AWG-2000V-75°C, para la fase, el neutro y la tierra de acuerdo con la Tabla 2 del Anexo A1. Mientras que el dimensionamiento del dispositivo de protección del tipo tiempo inverso, se realizó acorde con el artículo 430.52 del NEC [2], mediante la ecuación 2.2.

$$I_{Dispositivo} = (I_{Carga} (2.5)) \quad (2.2)[2].$$

$$I_{Dispositivo} = (9.8 (2.5))$$

$$I_{Dispositivo} = 24.5 A$$

Por lo tanto, se seleccionó un dispositivo de protección de 25 A por ser el inmediato superior.

2.2.2 Equipos de control.

Tomando en cuenta todos los equipos involucrados en el diseño del liofilizador de la Figura 2.1, se pudo determinar cinco entradas digitales y dos entradas analógicas, además de ocho salidas digitales. Con el fin de cubrir con las necesidades dadas por estas entradas y salidas, de ahí que, se seleccionó un PLC S7-1200 modelo 1214C AC/DC/RLY [3], y una pantalla HMI TP700-Comfort [4] como controlador y supervisor respectivamente. Además, se seleccionó una fuente de corriente directa SITOP PSU200M [5] para la alimentación del HMI y de las entradas del PLC.

De esta manera, según los datos técnicos de los respectivos manuales del PLC y de la fuente, se dimensionó un dispositivo de protección y conductores, mediante la suma de las corrientes que consumen los mismos, acorde con el artículo 240 del NEC [2].

$$I = I_{plc} + I_{fuente}$$

$$I = 2.2 A + 300 mA$$

$$I = 2.5 A$$

Por lo tanto, se seleccionó un dispositivo de protección de 4 A por ser el inmediato superior, y el conductor de 18AWG-1000V-60°C para la fase, el neutro y la tierra.

2.2.3 Diagramas.

Una vez finalizado el dimensionamiento, se realizaron los diagramas de fuerza y de control, donde se encuentran las protecciones y los dispositivos de control (contactores y relés), que permiten una correcta instalación de los equipos que se alimentan con el suministro de energía. Ver Figura 2.4 y para mayor detalle revisar Tabla 4 en el Anexo A1.

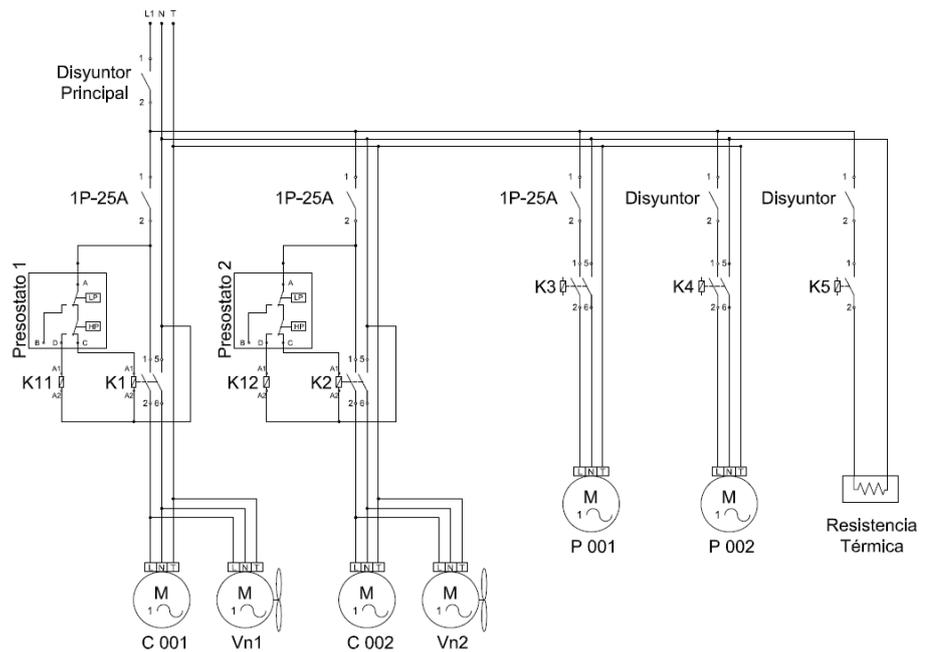


Figura 2.4: Diagrama de fuerza.

Como se observa en la Figura 2.4, se tomó en cuenta la conexión de dos presostatos que pertenecen a las protecciones de las unidades de refrigeración de la trampa (Presostato 1) y de la cámara (Presostato 2), que interrumpen la alimentación de las bobinas de sus respectivos contactores (k1 y k2) cuando se detecten presiones muy altas o muy bajas y análogamente, en caso de falla por alto presión se energizan las bobinas de los relés k11 y k12 respectivamente.

Además de utilizar los dispositivos de control y supervisión detallados anteriormente, se realizó el diagrama de control tomando en cuenta un selector para el encendido del equipo (S1), un botón para dar inicio al proceso (Start), un botón de paro de emergencia (Stop), un interruptor fin de carrera para la puerta de la cámara de liofilización (S2) y también los contactos de los relés k11 y k12 para las fallas por alta presión. Es ahí que, con

estas consideraciones se realizó el diagrama de control de la Figura 2.5.

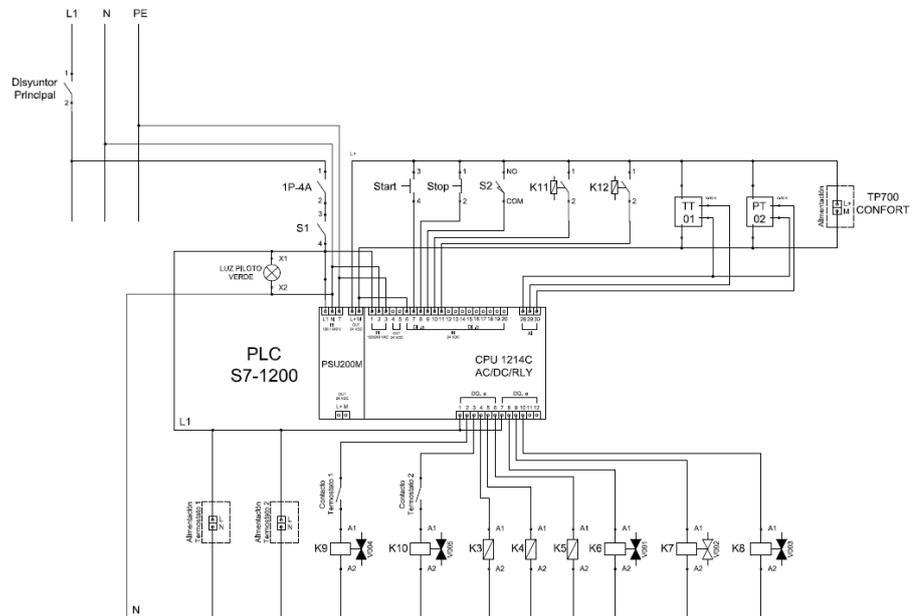


Figura 2.5: Diagrama de Control.

En la Figura 2.5, en las conexiones de salida del PLC, se observan las bobinas k9 y k10, que corresponden a las válvulas de “Pump Down” de las unidades de refrigeración de la trampa (V004) y de la cámara (V005) respectivamente, donde se ubicaron los contactos de sus respectivos termostatos, con el fin de desenergizar las bobinas de las válvulas, en caso de que las unidades de refrigeración alcance su mínima temperatura. Adicionalmente, se encuentran las bobinas k6, k7 y k8, que corresponden a las válvulas de desagüe (V001), conexión (V002) y alivio (V003).

Para mayor detalle del diagrama de control ver Figura 3 en Anexo A1.

2.2.4 Esquema del tablero de control.

Una vez finalizados los diagramas de fuerza y de control, se realizó el diseño del tablero de control, de acuerdo con las dimensiones (ancho, alto y profundidad) mencionadas en los respectivos manuales de los equipos, distribuyendo los espacios que ocupan dentro del tablero, como se observa en la Figura 2.6.

TABLERO DE CONTROL

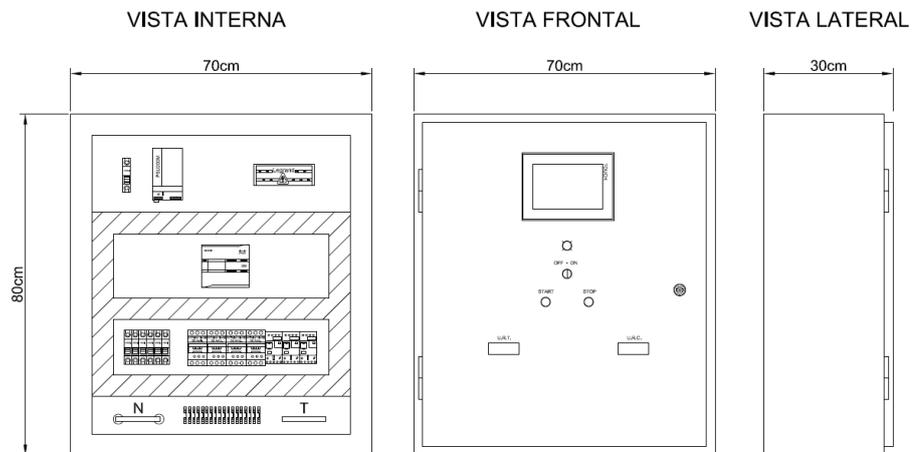


Figura 2.6: Diseño del tablero de control.

Para mayor detalle del diseño ver Figura 4 en el Anexo A1.

2.3 Programación.

Para conocer en que instantes deberán activarse los equipos a utilizar y además de llevar un debido control y seguimiento sobre el proceso de liofilización, se realizó una programación lógica secuencial de las etapas del proceso de liofilización. Adicionalmente, se efectuó la programación de una opción denominada mantenimiento, la cual permite la verificación del funcionamiento individual de los equipos. Finalmente, se realizó la programación de mensajes de aviso para notificar al operador de cualquier anomalía o evento sucedido.

A continuación, se describe en que consiste cada programación mencionada.

2.3.1 Programación de las etapas del proceso.

A partir del diagrama de control de la Figura 2.5, se realizó una tabla de variables digitales y analógicas, que intervienen en el proceso de liofilización (ver Tabla 5 en Anexo A2), que afectan las transiciones entre cada etapa, permitiendo así el diseño de un diagrama lógico del proceso, como se muestra en la Tabla 6 y Figura 5 del Anexo A2.

De esta manera, el diagrama lógico del proceso mencionado fue dividido en tres puntos importantes para un desarrollo ordenado del mismo:

- Inicialización: Ingreso de parámetros, congelación y deshidratación primaria.
- Control de temperatura: Deshidratación secundaria (incremento de temperatura seguido del control por histéresis).
- Finalización: Confirmación de proceso terminado y apertura de la puerta de la cámara.

Inicialización

En cuanto al inicio del proceso puede realizarse de tres maneras; mediante un botón virtual “M_Init”, mediante la entrada digital “Inicio” o mediante la apertura de la puerta de la cámara de liofilización (“Camara_Cerrada”) una vez terminado el proceso en la Etapa 10, mencionada en el transcurso del capítulo. De esta manera, se realizó el diagrama de flujo con las condiciones de transición a la Etapa 1, como se muestra en la Figura 2.7.

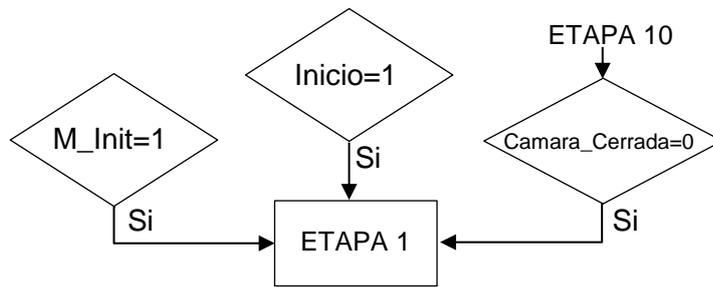


Figura 2.7: Transición a la Etapa 1.

Una vez, en la Etapa 1 se debe realizar el correcto ingreso de los valores en los parámetros “Set_Tiempo_Histeresis” y “Set_Dif_Temp”, que cuentan con las debidas validaciones (véase la sección de validaciones en el Anexo A2). Análogamente, se requiere confirmar el ingreso de los parámetros (“Parametros_Ingresados”) y que la cámara esté cerrada (“Camara_Cerrada”), para de esta manera continuar hacia la Etapa 2.

Adicionalmente, se diseñó una opción para almacenar valores predeterminados de hasta dos productos, mediante la remanencia de dichas variables, que permite el ingreso de valores con mayor facilidad (para mayor detalle ver “Programación para el ingreso de valores predeterminados” en Anexo A2).

En la Figura 2.8 se muestra el diagrama de flujo de la condición de transición de la Etapa 1 a la Etapa 2.

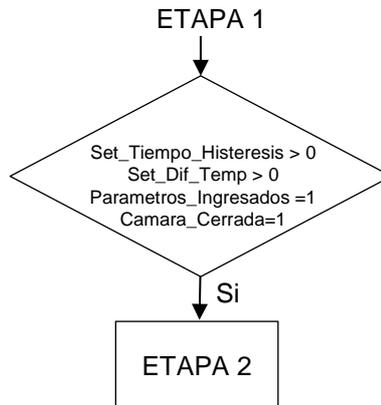


Figura 2.8: Transición a la Etapa 2.

Es ahí que, a partir de la Etapa 2 se empieza con el proceso de liofilización, por lo que, se procederá con la activación de las unidades de refrigeración (“Und_Refr_Camara” y “Und_Refr_Trampa”) y la bomba de circulación (“Bomba_Circulacion”), generando la congelación del producto. Una vez que, la temperatura en la cámara (“Temp_Camara”) sea inferior o igual a la temperatura mínima constante que dependerá de la capacidad de las unidades de refrigeración (“Temp_min”), para de esta manera continuar con la Etapa 3 del proceso, que da inicio a la deshidratación primaria.

En la Figura 2.9 se muestra el diagrama de flujo de la condición de transición de la Etapa 2 a la Etapa 3.

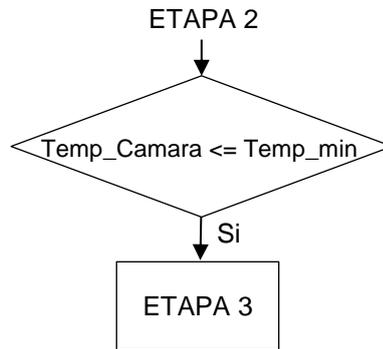


Figura 2.9: Transición a la Etapa 3.

Entonces en la Etapa 3, se procederá a realizar la deshidratación primaria, por lo que, se mantienen activas las unidades de refrigeración, la bomba de circulación y adicionalmente se realizará la activación de la bomba de vacío, lo que resultará con la disminución de la presión en la cámara y la trampa, hasta obtener valores de presión por debajo de 0.61kPa, cumpliendo con la condición de transición para continuar con la Etapa 4. De igual manera, desde la Etapa 8 (la cual se detalla posteriormente), se continuará inmediatamente a la Etapa 4, por no tener condición de transición.

En la Figura 2.10 se muestra el diagrama de flujo con las condiciones transición desde las Etapa 3 y 8 hacia la Etapa 4.

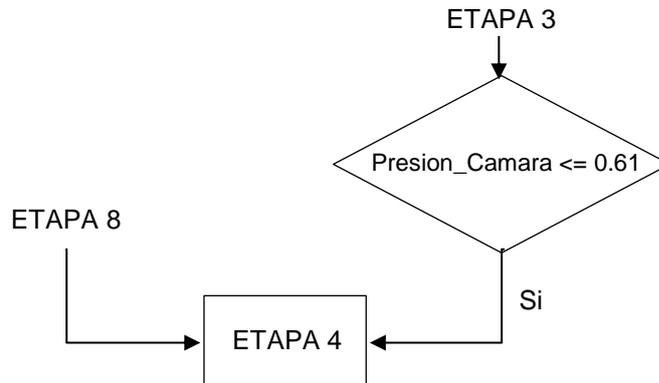


Figura 2.10: Transición a la Etapa 4.

Control de temperatura.

De manera que, en la Etapa 4 se da inicio a la deshidratación secundaria, manteniendo activas las unidades de refrigeración, además de la bomba de circulación y de la bomba de vacío. De ahí que, para incrementar la temperatura del producto se activa la resistencia térmica, tomando en cuenta si la variable “Real_Dif_Temp” es mayor o igual a la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro (“Set_Dif_Temp”), para continuar a la Etapa 5.

Por otra parte, si el proceso se encuentre en la Etapa 7 (la cual se detalla posteriormente), se continuará inmediatamente a la Etapa 5, por no tener condición de transición.

En la Figura 2.11 se muestra el diagrama de flujo de las condiciones de transición de la Etapa 4 y 7 hacia la Etapa 5.

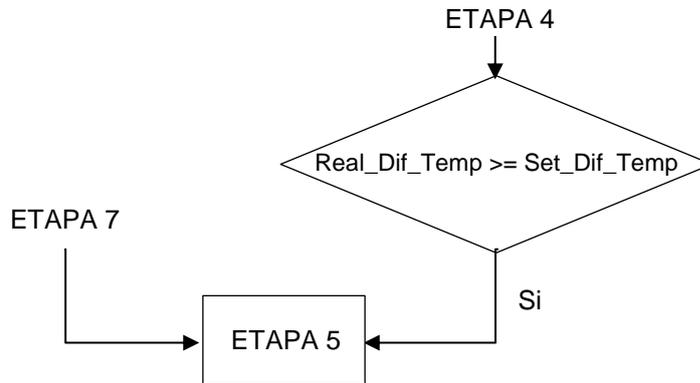


Figura 2.11: Transición a la Etapa 5.

Es ahí que, en la Etapa 5 se procede a realizar el control de temperatura por histéresis, manteniendo activas las unidades de refrigeración, así como también la bomba de circulación y de vacío. Adicionalmente, se activa la resistencia térmica hasta que la variable (“Real_Dif_Temp”) supere la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro (“Set_Dif_Temp”).

En la Figura 2.12 se muestra el diagrama de flujo de la condición de transición de la Etapa 5 a la Etapa 6.

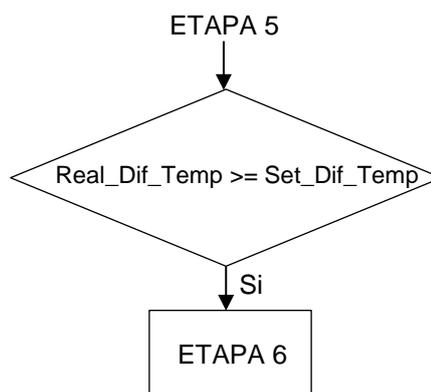


Figura 2.12: Transición a la Etapa 6.

Por consiguiente, en la Etapa 6 se mantienen activas las unidades de refrigeración, bomba de vacío y de circulación, pero

se desactiva la resistencia térmica, para que al disminuir la temperatura la variable (“Real_Dif_Temp”) sea menor o igual a la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro (“Set_Dif_Temp”), para de esta manera continuar con la Etapa7. En la Figura 2.13 se muestra el diagrama de flujo de la condición de transición de la Etapa 6 a la Etapa 7.

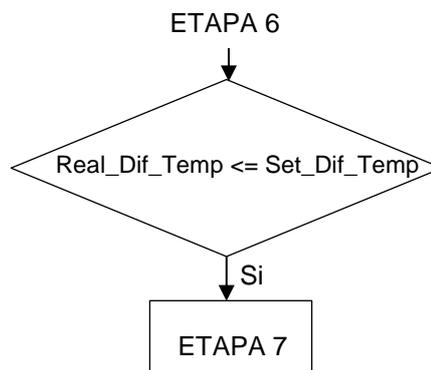


Figura 2.13: Transición a la Etapa 7.

Una vez en la Etapa 7, se mantienen activas las unidades de refrigeración, así como también la bomba de circulación y de vacío. La creación de esta etapa es netamente transitoria para retornar a la Etapa 5.

Una vez en la Etapa 5 o desde la Etapa 6, se toma en cuenta el tiempo que ha transcurrido (“Set_Tiempo_Histeresis”) del control por histéresis, para una vez cumplido este tiempo continuar con la Etapa 8.

En la Figura 2.14 se muestra el diagrama de flujo de la condición de transición de las Etapa 5 y 6 a la Etapa 8.

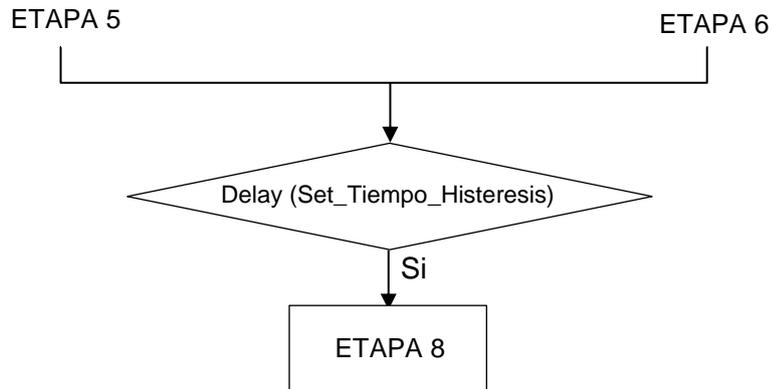


Figura 2.14: Transición de la Etapas 5 o 6 a la Etapa 8.

Finalización.

La condición de finalización del proceso depende únicamente de la temperatura del producto (“Temp_Camara”). Por lo tanto, si, la temperatura del producto es mayor o igual a la temperatura máxima ingresada como constante (“Temp_max”), entonces el proceso de liofilización terminó y se acciona la válvula de alivio para eliminar el vacío, cabe mencionar que, se puede realizar la finalización del proceso desde la Etapa 4, Etapa 5 o Etapa 6.

Es así como, en la Figura 2.15 se muestra la condición de transición a la Etapa 9.

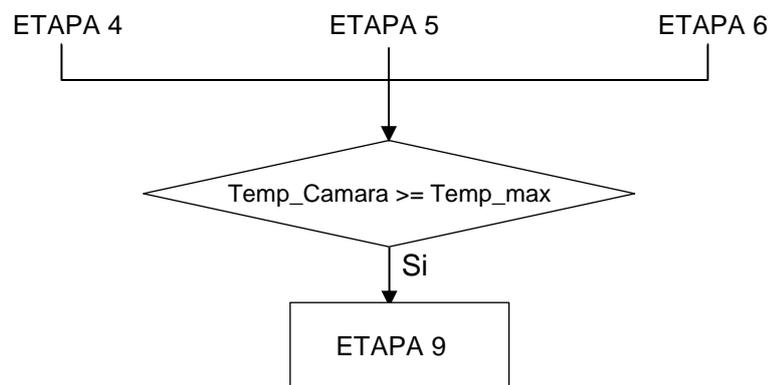


Figura 2.15: Transición para la finalización del proceso.

Una vez terminado el proceso de liofilización, se mostrará un mensaje por pantalla como aviso de que se ha culminado la liofilización, dicho aviso se mostrará en todas las ventanas, es decir, no importa donde se encuentre el operador, el podrá percatarse del aviso.

Finalmente, para continuar con la Etapa 10 se debe presionar el botón virtual “Finalizar”.

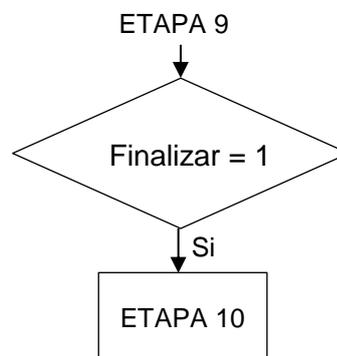


Figura 2.16: Transición de la Etapa 9 a la Etapa 10.

De esta manera, en la Figura 2.16 se muestra la condición de transición de la Etapa 9 a la Etapa 10.

2.3.2 Programación de la opción de mantenimiento.

Se programó la opción de mantenimiento, que consiste en la activación o desactivación individual de cada equipo, con la finalidad de probar el funcionamiento de estos, sin la necesidad de iniciar el proceso de liofilización.

De esta manera, en la opción de mantenimiento se visualizan como los equipos utilizados durante el proceso, constan con botones virtuales en los cuales se puede realizar la activación de cada válvula (“Act_Valv_Desague”, “Act_Valv_Conexion” y “Act_Valv_Alivio”), así como también de las unidades de

refrigeración (“Act_Und_Refr_Camara” y “Act_Und_Refr_Trampa”) y de la bomba de vacío (“Act_Bomba_Vacio”), con su respectiva animación.

2.3.3 Programación de mensajes de aviso en caso de fallo.

Como parte fundamental del sistema SCADA, se programó mensajes de aviso con el fin de que el operador tenga conocimiento de cualquier anomalía o evento no deseado durante el proceso, que dé como resultado con la detención del proceso.

Por lo tanto, se realizó la programación de los siguientes avisos:

- Paro de emergencia.
- Fallo en el sistema de vacío.
- Fallo en los compresores por presiones fuera de rango.

Paro de Emergencia.

Se programó la “ETAPA_PARO_EMERGENCIA”, para la detención del proceso y a su vez la desactivación de todos los equipos, mediante una entrada digital denominada “Paro_Emergencia”.

Fallo en vacío.

Se realizó la programación de la “ETAPA_FALLO_VACIO” con su respectivo aviso en caso de que existiera una falla en la generación de vacío durante el proceso. Para que este fallo ocurra, debe transcurrir un tiempo sin que la presión disminuya, o que la presión aumente luego de que se alcanzó el vacío, indicando de esta manera que existe alguna fuga en el sistema.

Fallo en los compresores.

Se programaron las etapas, “ETAPA_FALLO_PSH1” y “ETAPA_FALLO_PSH2” para cada compresor de las unidades de refrigeración respectivamente, que son activadas mediante las entradas digitales “PSH1” y “PSH2”, accionadas por los contactos de sus respectivos presostatos.

Para más detalle respecto a la programación de los avisos mencionados, ver Anexo A2.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la simulación del programa realizado en lenguaje de diagrama de funciones y visualizado en un PLC y HMI virtual.

3.1 Simulación de las etapas del proceso

Una vez compilado el programa del PLC y las pantallas del HMI, se procede con la simulación, iniciando con la pantalla que se muestra en la Figura 3.1 donde se puede seleccionar entre dos opciones proceso o mantenimiento.



Figura 3.1: Pantalla inicial del HMI.

A continuación, se escogió la opción proceso, que permitió acceder a una nueva pantalla donde se puede supervisar el comportamiento del proceso, véase Figura 3.2. Es ahí que, como primer paso se ingresaron dos parámetros: tiempo de la histéresis y diferencia de

temperatura, previo a esto, se presionó el botón configuración que permitió acceder a la pantalla donde se ingresaron estos parámetros, véase Figura 3.3.

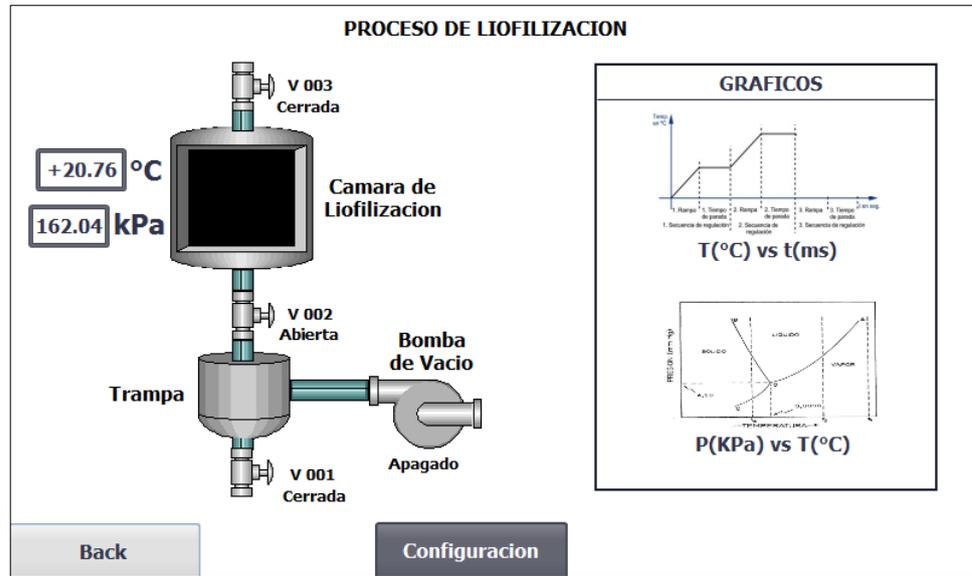


Figura 3.2: Pantalla de supervisión general del HMI.

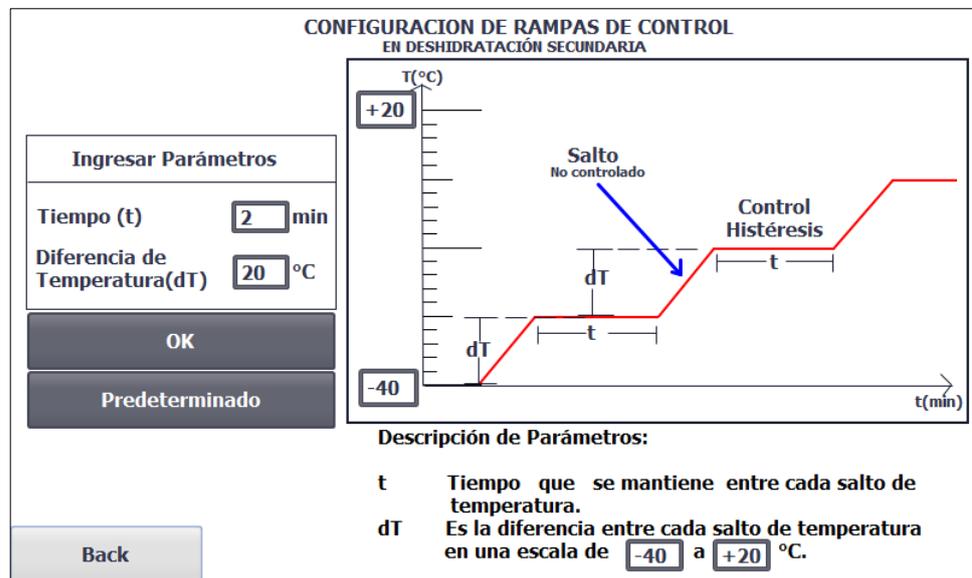


Figura 3.3: Pantalla de configuración de los parámetros.

Posteriormente, para continuar con el proceso, se forzó la entrada “Camara_Cerrada” desde la tabla de variables del PLCSIM y se

presionó el botón “OK” confirmando los parámetros, véase Figura 3.4 y Figura 3.5.

	Nombre	Dirección	Formato de visua...	Observar/forzar valor	Bits	Forzar c...	
<input checked="" type="checkbox"/>	*Camara_Cerrada*	%IO.2	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE
<input checked="" type="checkbox"/>	*Sensor_Presion_Camara*	%IW102	DEC+/-	28000			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Presion_Camara*	%MD16	Número en coma...	162,037			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Sensor_Temp_Camara*	%IW100	DEC+/-	28000			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Temp_Camara*	%MD8	Número en coma...	20,76389			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*tiempo_control*	%MD64	DEC+/-	0			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Real_Dif_Temp*	%MD28	Número en coma...	0			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Set_Tiempo_Histeresis*	%MD32	DEC+/-	2			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Set_Dif_Temp*	%MD36	Número en coma...	20			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Cont_Num_Rampas*	%MW40	DEC+/-	0			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Num_Rampas*	%MW46	DEC+/-	3			0
<input checked="" type="checkbox"/>	*Resistencia_Termica*	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/>	FALSE

Figura 3.4: Tabla de variables del PLCSIM.

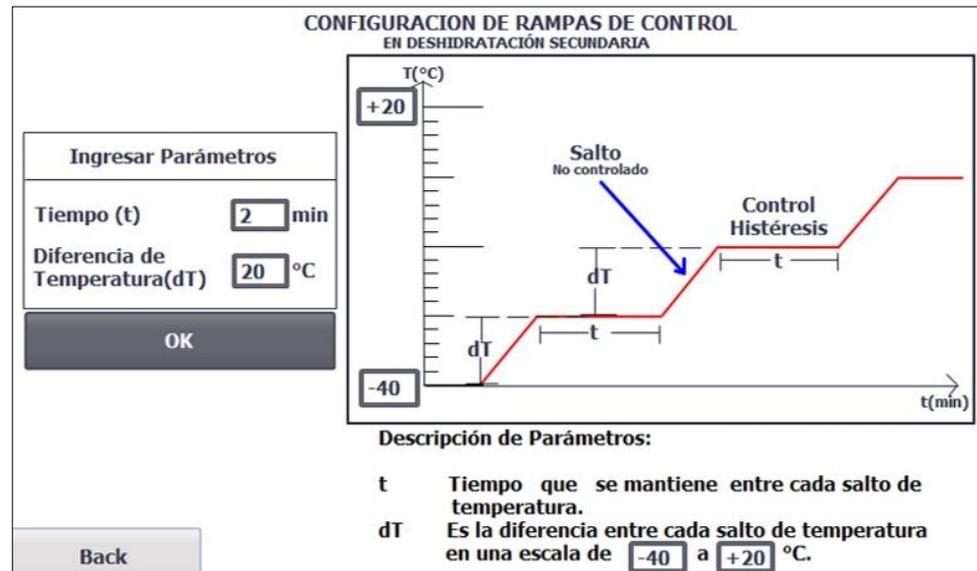


Figura 3.5: Pantalla de configuración con los valores ingresados.

Con el fin de trabajar con una simulación más fluida se realizó una secuencia en PLCSIM (ver ANEXO para más detalles) simulando las lecturas de los sensores de presión y temperatura por medio de las variables “Sensor_Presion_Camara” y “Sensor_Temp_Camara” tomando en cuenta los parámetros ingresados, en este caso dos minutos en el tiempo de la histéresis y veinte grados Celsius en la diferencia de temperatura. A continuación, se muestran los gráficos

de la secuencia de temperatura y presión, donde se puede observar cada etapa del proceso de liofilización, véase Figura 3.6 y Figura 3.7.

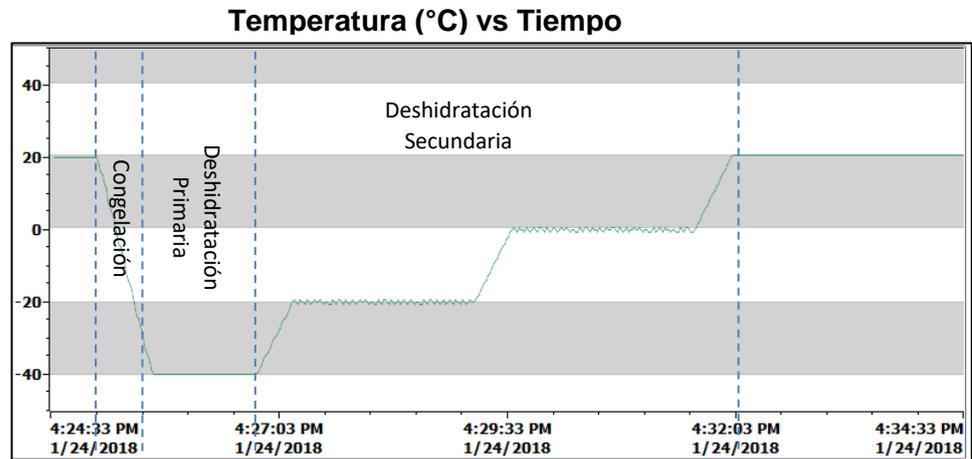


Figura 3.6: Gráfico representativo de la temperatura del producto durante la simulación.

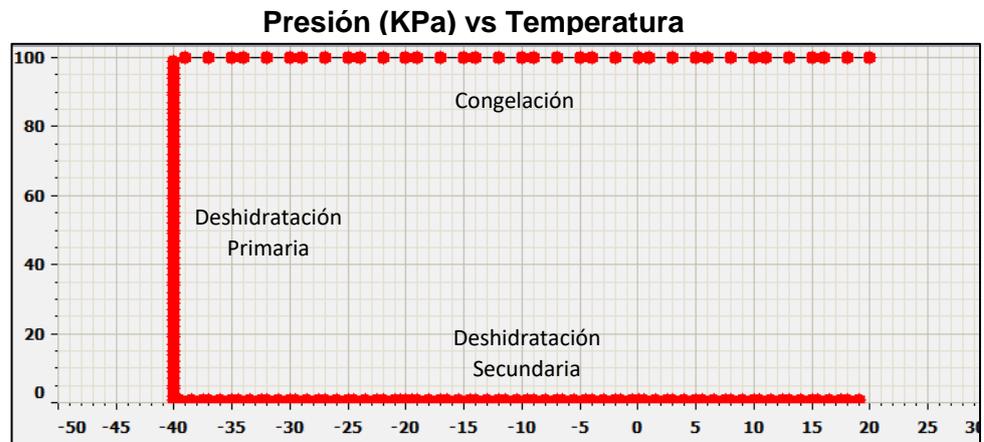


Figura 3.7: Gráfico representativo de la presión vs temperatura de la simulación.

A medida que la secuencia se iba ejecutando, los valores de las variables temperatura y presión cambiaban, lo que permitió apreciar como el programa del SCADA fue afectado, cumpliendo las etapas establecidas en el capítulo 2.

Al inicio, la secuencia fue disminuyendo la temperatura, simulando la etapa de congelación, en donde se pudo apreciar el funcionamiento de los sistemas en la cámara y en la trampa, ver Figura 3.8 y Figura 3.9.

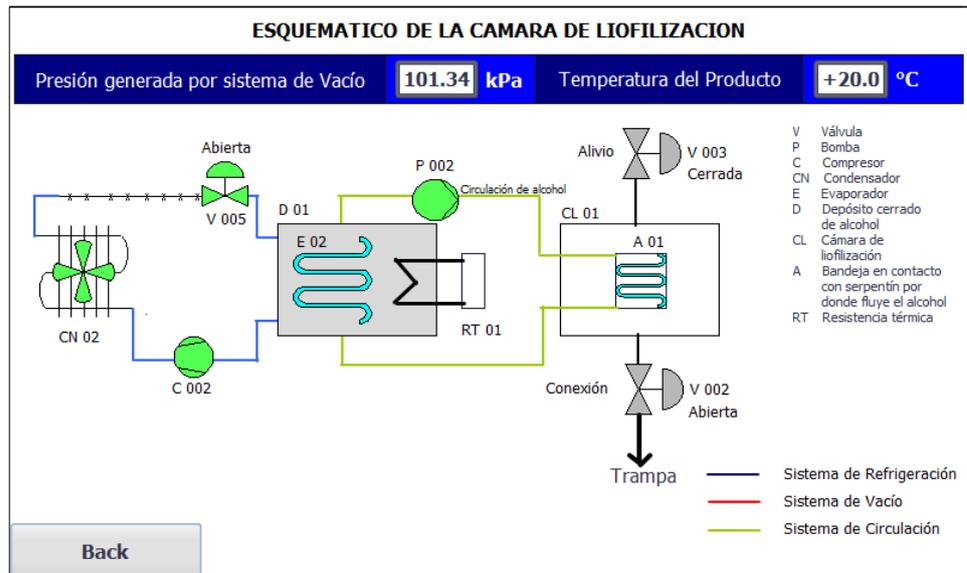


Figura 3.8: Pantalla del esquemático de la cámara de liofilización.

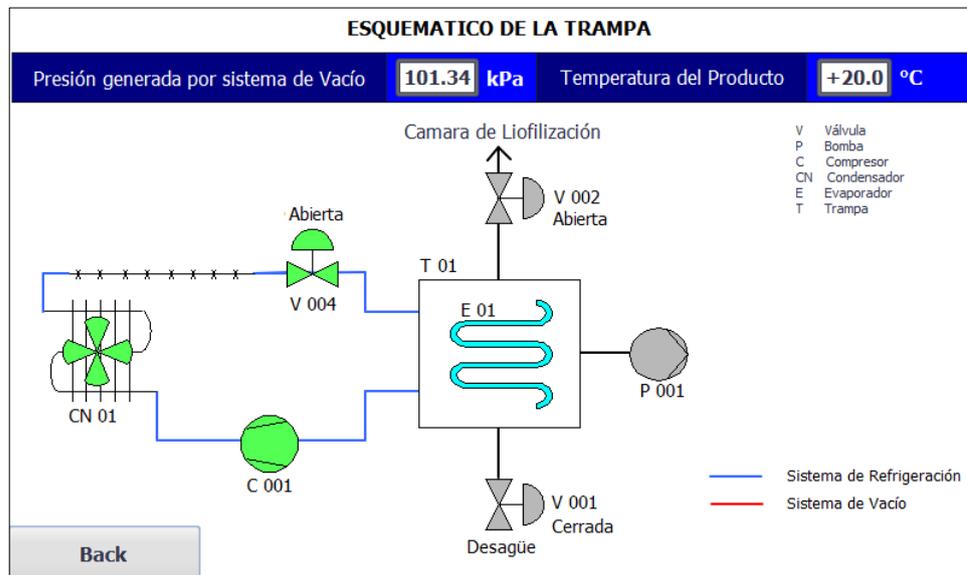


Figura 3.9 Pantalla del esquemático de la trampa.

Una vez, la secuencia alcanzó la temperatura mínima, en este caso cuarenta grados Celsius bajo cero, el programa continuó con la etapa

de deshidratación primaria en donde se accionó la variable “Bomba_Vacio”, en ese momento la secuencia disminuyó la presión hasta el vacío, por debajo de 0,61 KPa, simulando el accionar de la bomba. Lo mencionado puede visualizarse en la Figura 3.10 y Figura 3.11.

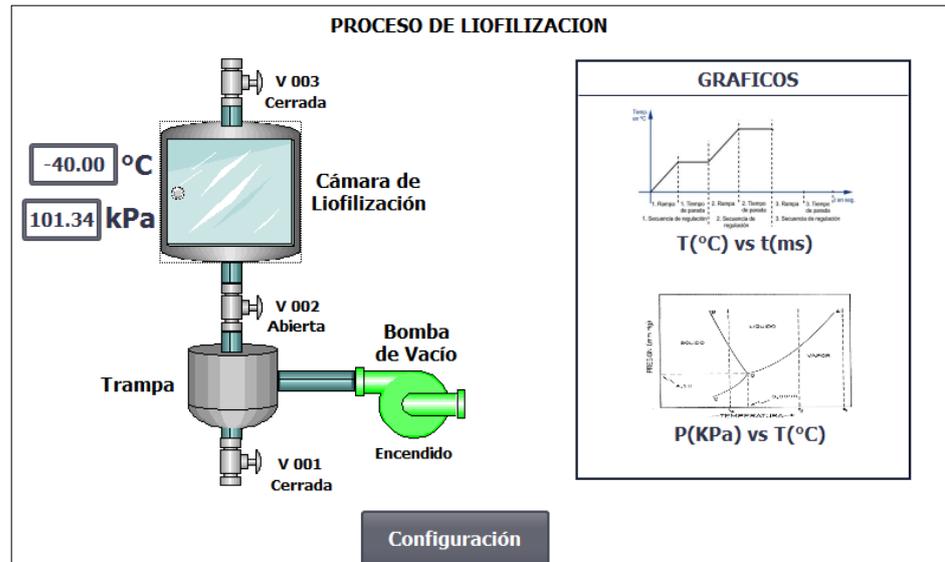


Figura 3.10: Pantalla con la bomba de vacío activada, simulando presión atmosférica.

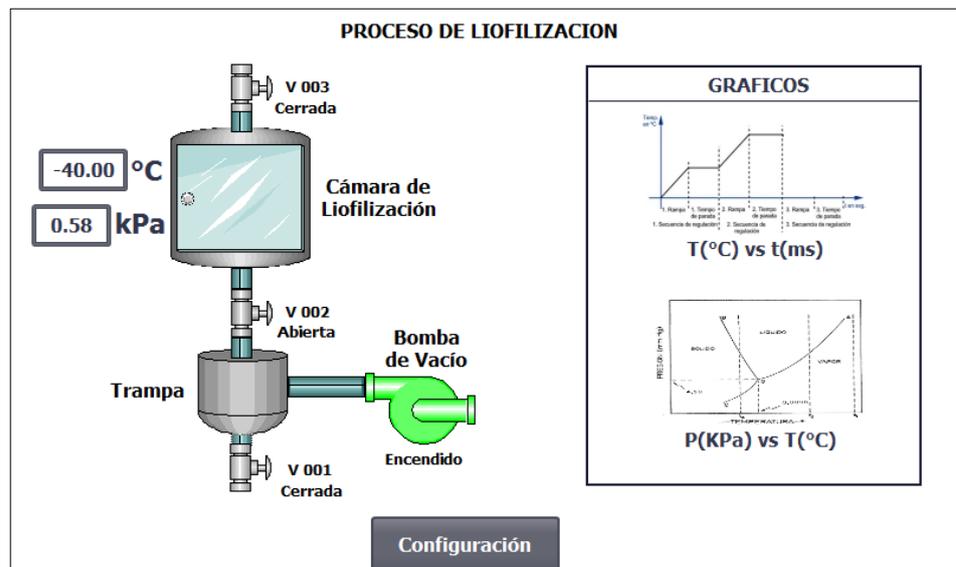


Figura 3.11: Pantalla con la bomba de vacío activada, simulando vacío en el sistema.

A partir de que, la secuencia de la presión se encontraba por debajo de 0,61KPa, se empezó con la etapa de deshidratación secundaria. En donde se pudo apreciar como intervino la resistencia térmica, debido a que la secuencia incrementaba la temperatura, simulando el accionar de la resistencia térmica, para alcanzar la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro, véase la Figura 3.12.

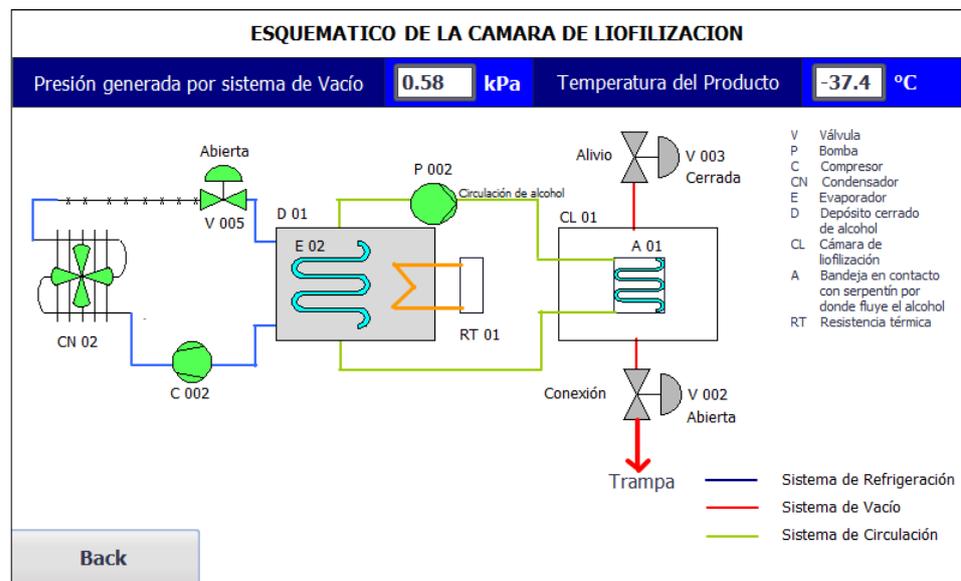


Figura 3.12: Pantalla del esquemático de la cámara de liofilización con resistencia térmica encendida.

Una vez la secuencia alcanzó la diferencia de temperatura, se pudo observar el funcionamiento del control por histéresis, mostrando la activación y desactivación de la resistencia térmica, como se observa en la Figura 3.13 y en la Figura 3.14.

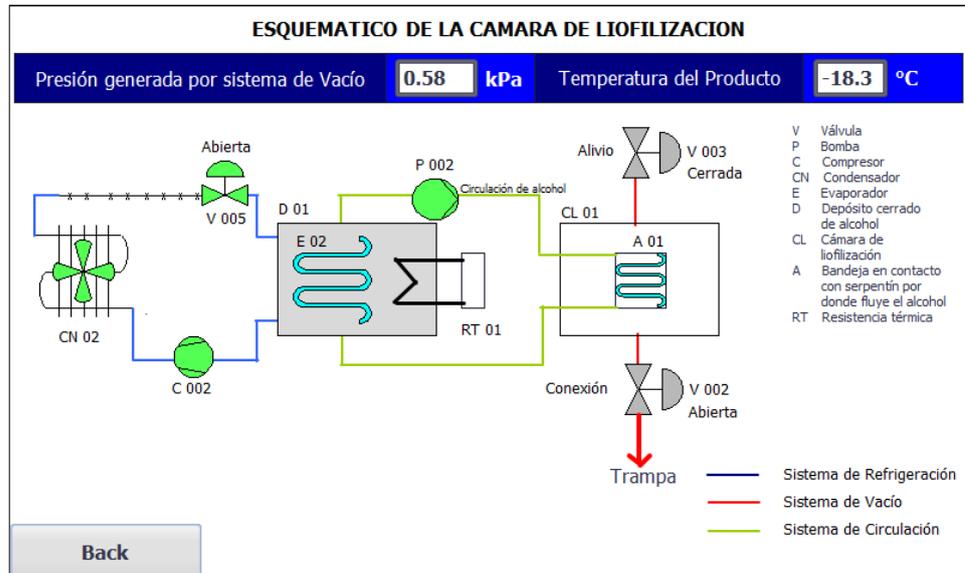


Figura 3.13: Pantalla del esquemático de la cámara de liofilización con resistencia desactivada debido al control por histéresis.

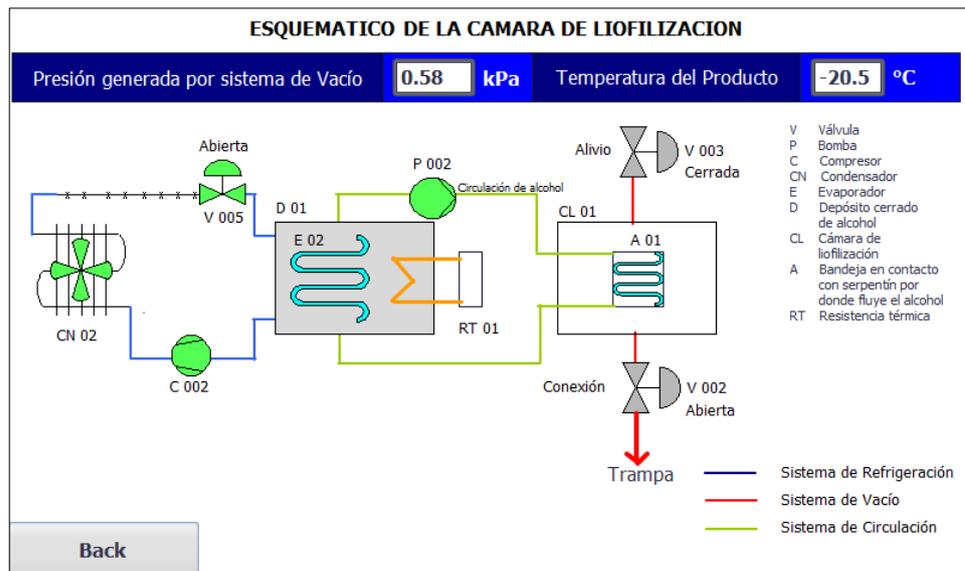


Figura 3.14: Pantalla del esquemático de la cámara de liofilización con resistencia activada debido al control por histéresis.

Al finalizar el control, se realizó un cambio de referencia, mediante la programación de una operación en el Main del bloque de programación del PLC (ver la obtención de la variable “Real_Dif_Temp” en Anexo A2), que permitió repetir las acciones de

calentar para alcanzar la diferencia de temperatura y de realizar el control por histéresis, hasta que se alcanzó la máxima temperatura permitida en el programa, en este caso veinte grados Celsius, dando por finalizada la simulación del proceso de liofilización y análogamente se acciona la válvula de alivio, véase desde la Figura 3.15, Figura 3.16 y Figura 3.17.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar c...	
-01	*Camara_Cerrada*	%IO.2	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
-01	*Sensor_Presion_Camara*	%IW102	DEC+/-	100		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Presion_Camara*	%MD16	Número en coma...	0,5787037		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Sensor_Temp_Camara*	%IW100	DEC+/-	9100		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Temp_Camara*	%MD8	Número en coma...	-20,25174		0	<input type="checkbox"/>
-01	*tiempo_control*	%MD64	DEC+/-	71903		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Real_Dif_Temp*	%MD28	Número en coma...	19,74826		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Set_Tiempo_Histeresis*	%MD32	DEC+/-	2		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Set_Dif_Temp*	%MD36	Número en coma...	20		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Cont_Num_Rampas*	%MW40	DEC+/-	0		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Num_Rampas*	%MW46	DEC+/-	3		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Resistencia_Termica*	%Q0.4	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
-01	*Temp_Ref_Rampa*	%MD48	Número en coma...	-40		0	<input type="checkbox"/>

Figura 3.15: Variable "Temp_Ref_Rampa" en su valor inicial.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar c...	
-01	*Camara_Cerrada*	%IO.2	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
-01	*Sensor_Presion_Camara*	%IW102	DEC+/-	100		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Presion_Camara*	%MD16	Número en coma...	0,5787037		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Sensor_Temp_Camara*	%IW100	DEC+/-	9300		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Temp_Camara*	%MD8	Número en c...	-19,81771		0	<input type="checkbox"/>
-01	*tiempo_control*	%MD64	DEC+/-	0		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Real_Dif_Temp*	%MD28	Número en coma...	0,1822929		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Set_Tiempo_Histeresis*	%MD32	DEC+/-	2		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Set_Dif_Temp*	%MD36	Número en coma...	20		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Cont_Num_Rampas*	%MW40	DEC+/-	1		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Num_Rampas*	%MW46	DEC+/-	3		0	<input type="checkbox"/>
-01	*Resistencia_Termica*	%Q0.4	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
-01	*Temp_Ref_Rampa*	%MD48	Número en coma...	-20		0	<input type="checkbox"/>

Figura 3.16: Variable "Temp_Ref_Rampa" luego del primer cambio de referencia.

	Nombre	Dirección	Formato de visua...	Observar/forzar valor	Bits	Forzar c...	
-[0]	"Camara_Cerrada"	%I0.2	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Sensor_Presion_Camara"	%IW102	DEC+/-	100		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Presion_Camara"	%MD16	Número en coma...	0,5787037		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Sensor_Temp_Camara"	%IW100	DEC+/-	26500		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Temp_Camara"	%MD8	Número en coma...	17,50868		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"tiempo_control"	%MD64	DEC+/-	0		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Real_Dif_Temp"	%MD28	Número en coma...	17,50868		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Set_Tiempo_Histeresis"	%MD32	DEC+/-	2		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Set_Dif_Temp"	%MD36	Número en c...	20		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Cont_Num_Rampas"	%MW40	DEC+/-	2		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Num_Rampas"	%MW46	DEC+/-	3		0	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Resistencia_Termica"	%Q0.4	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
-[0]	"Temp_Ref_Rampa"	%MD48	Número en coma...	0		0	<input type="checkbox"/>

Figura 3.17: Variable "Temp_Ref_Rampa" luego de un nuevo cambio de referencia.

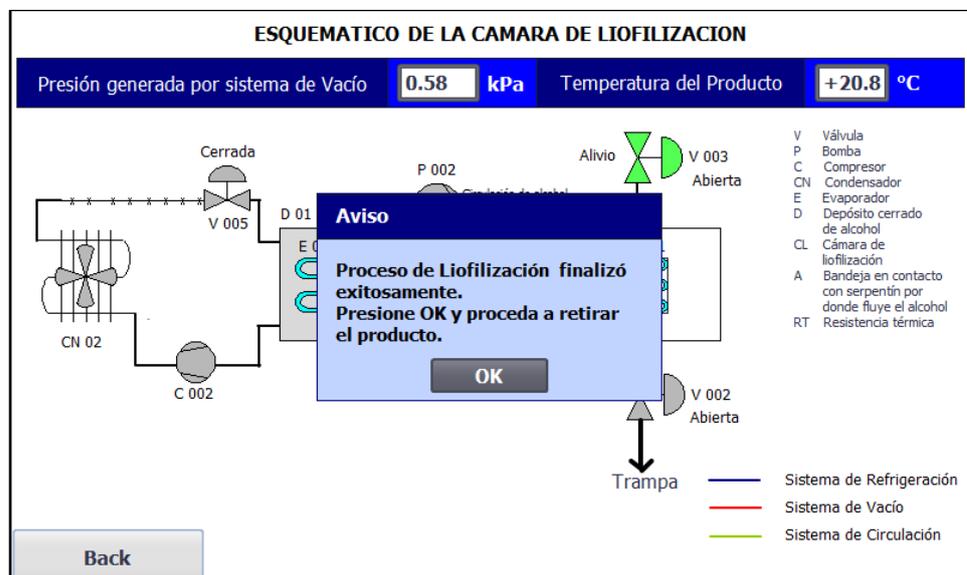


Figura 3.18: Mensaje de aviso de finalización del proceso de liofilización.

Para finalizar el proceso se presionó el botón "OK" y se procedió a desactivar la variable "Camara_Cerrada" que simula la apertura de la puerta de la cámara de liofilización para retirar el producto, ver Figura 3.18 y Figura 3.19.

Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar c...
Camara_Cerrada	%I0.2	Bool	FALSE		FALSE
Sensor_Presion_Camara	%IW102	DEC+/-	17300		0
Presion_Camara	%MD16	Número en coma...	100,1157		0
Sensor_Temp_Camara	%IW100	DEC+/-	28000		0
Temp_Camara	%MD8	Número en coma...	20,76389		0
tiempo_control	%MD64	DEC+/-	0		0
Real_Dif_Temp	%MD28	Número en coma...	20,76389		0
Set_Tiempo_Histeresis	%MD32	DEC+/-	2		0
Set_Dif_Temp	%MD36	Número en coma...	20		0
Cont_Num_Rampas	%MW40	DEC+/-	0		0
Num_Rampas	%MW46	DEC+/-	3		0
Resistencia_Termica	%Q0.4	Bool	FALSE		FALSE
Temp_Ref_Rampa	%MD48	Número en coma...	-40		0

Figura 3.19 Variable "Camara_Cerrada" forzada a FALSE.

3.2 Simulación de la opción de mantenimiento

Por otra parte, para la simulación de la opción de mantenimiento, se presionó el botón virtual "Mantenimiento" de la Figura 3.1, que permitió acceder a una nueva pantalla, como se muestra en la Figura 3.20.

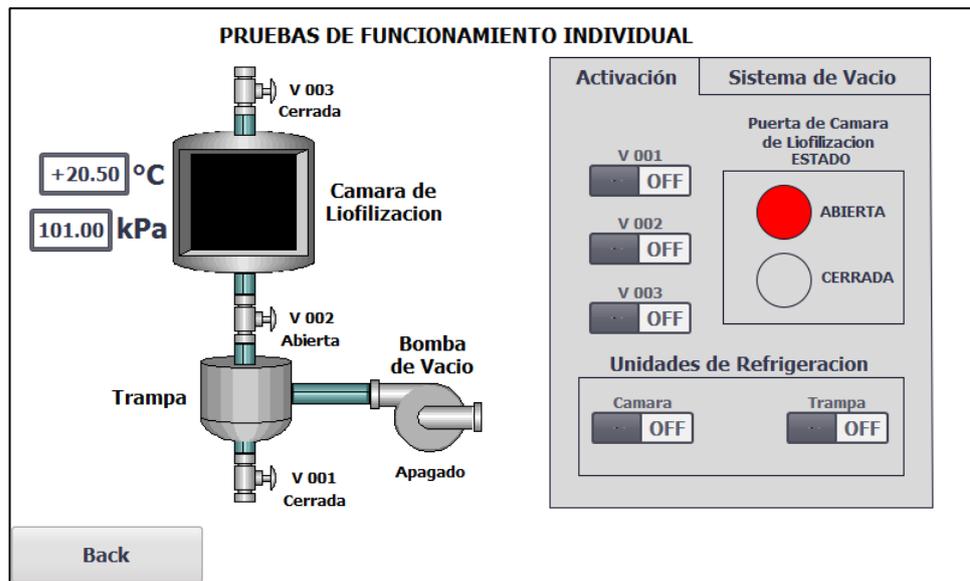


Figura 3.20: Pantalla de pruebas de funcionamiento individual.

En esta pantalla, se realizó el accionamiento individual de cada equipo. A continuación, se muestra el resultado de la simulación de cada activación. Véase Figura 3.21, Figura 3.22, Figura 3.23, Figura 3.24 y Figura 3.25.

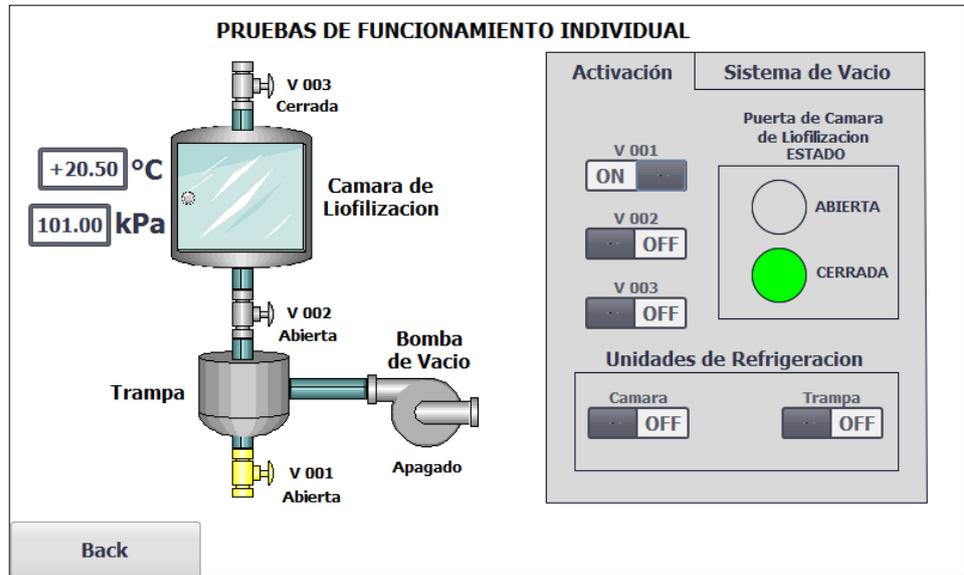


Figura 3.21: Activación de la válvula de desagüe.

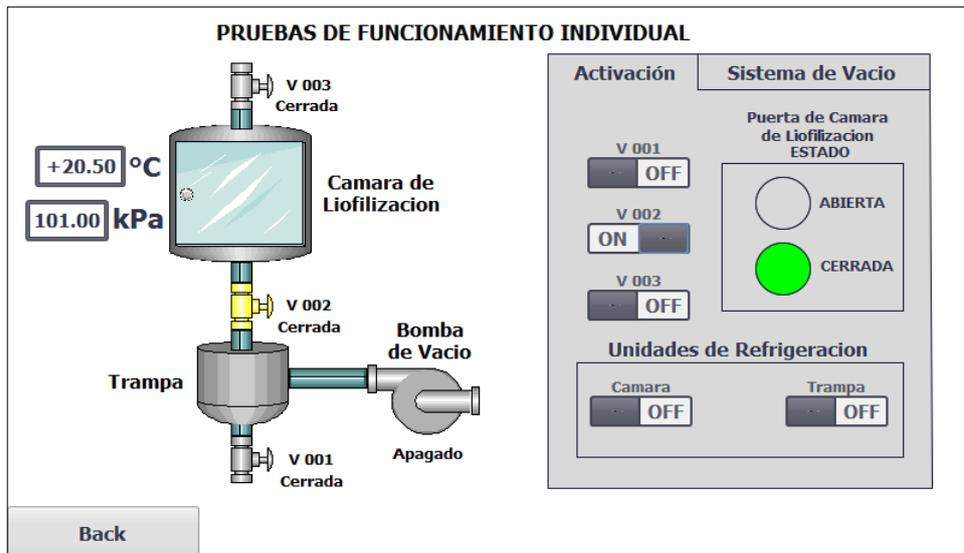


Figura 3.22: Activación de la válvula de conexión cámara-trampa.

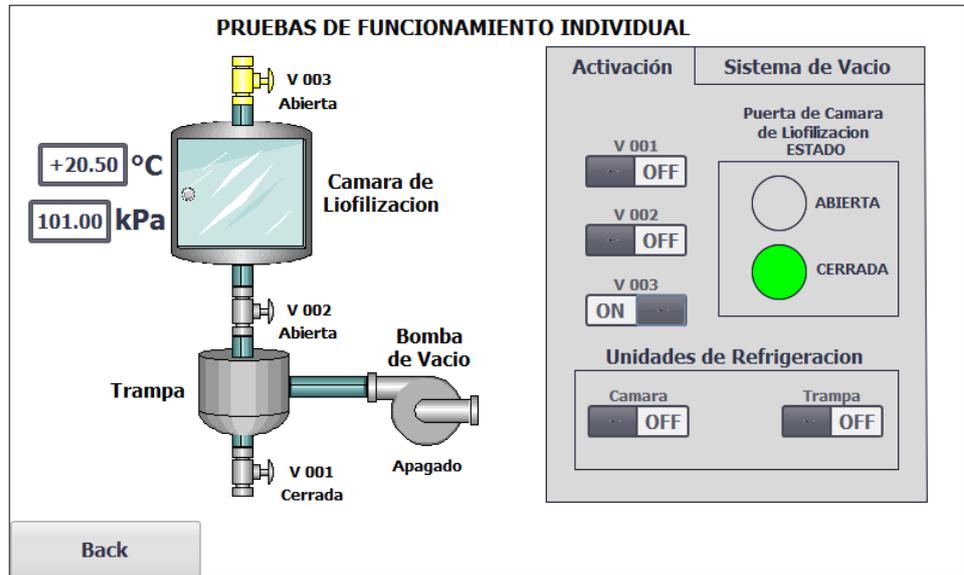


Figura 3.23: Activación de la válvula de alivio.

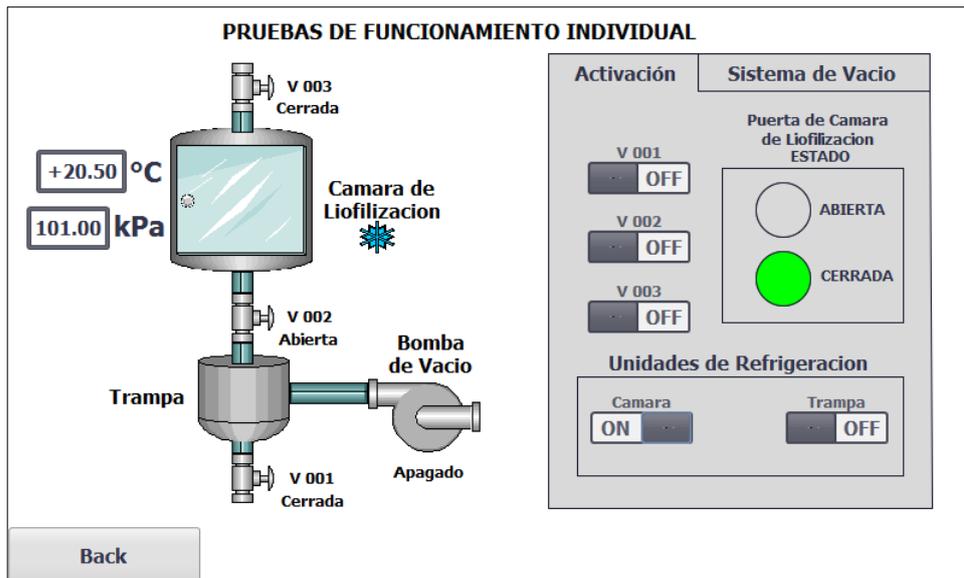


Figura 3.24: Activación de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.

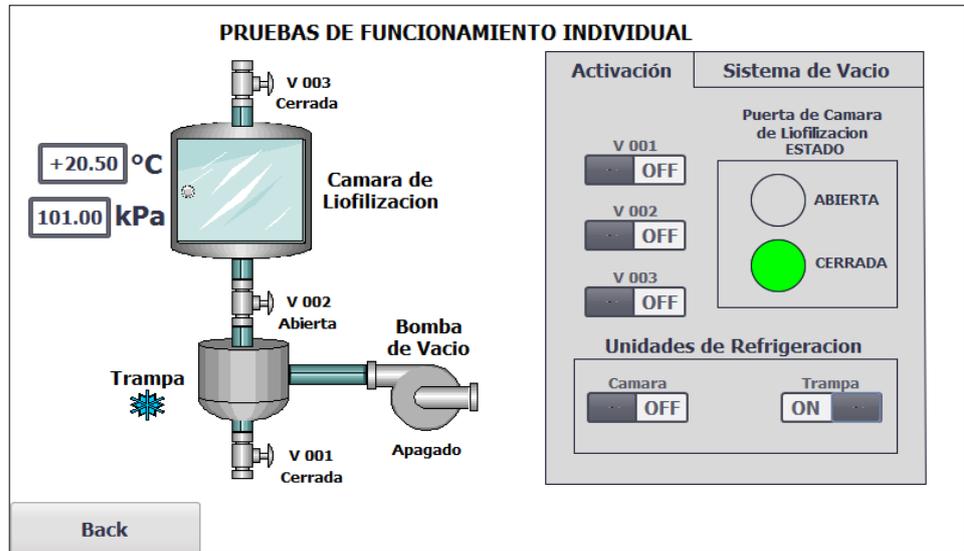


Figura 3.25: Activación de la unidad de refrigeración de la trampa.

Después, en la pestaña “Sistema de Vacío” se presionó un botón virtual, que permitió la activación de la bomba. Como se muestra en la Figura 3.26.

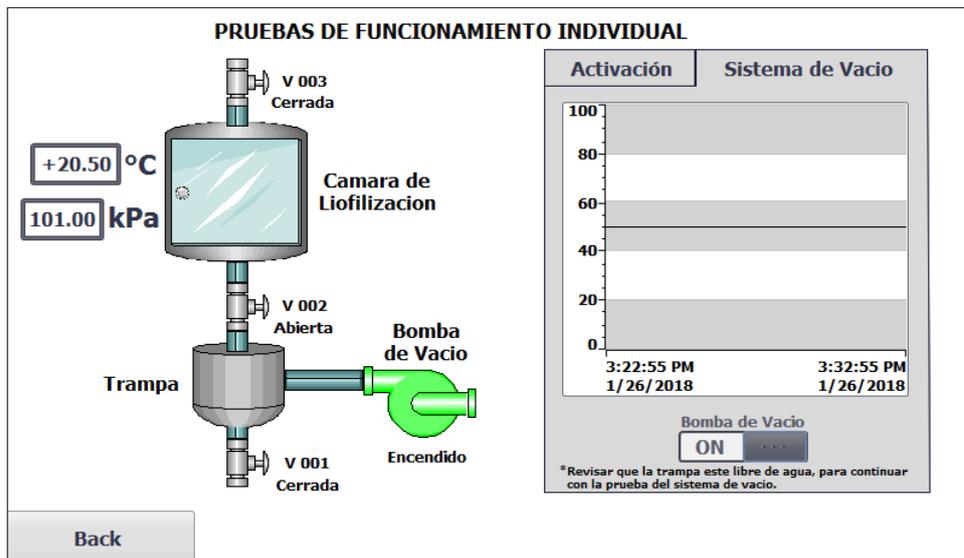


Figura 3.26: Activación de la bomba de vacío y graficador Presión vs Tiempo

3.3 Simulación de los mensajes de fallos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al forzar los fallos.

3.3.1 Etapa de Emergencia.

Se forzó la entrada digital “Paro Emergencia”, la cual deshabilitó todas las etapas del proceso, mostrando el mensaje de aviso, como se observa en la Figura 3.27.



Figura 3.27: Activación del mensaje de aviso de Paro de Emergencia.

3.3.2 Etapa de Fallo en Vacío.

Se ingresaron los valores de presión que permitieron simular un fallo en el sistema de vacío, mostrando el mensaje que se observa en la Figura 3.28.



Figura 3.28 Activación del mensaje de aviso de falla en vacío.

3.3.3 Etapa de fallo en los compresores.

Se forzaron las entradas digitales “PSH1” y “PSH2” que permitieron simular los fallos por presiones altas en los compresores, como se muestra en la Figura 3.29 y Figura 3.30.

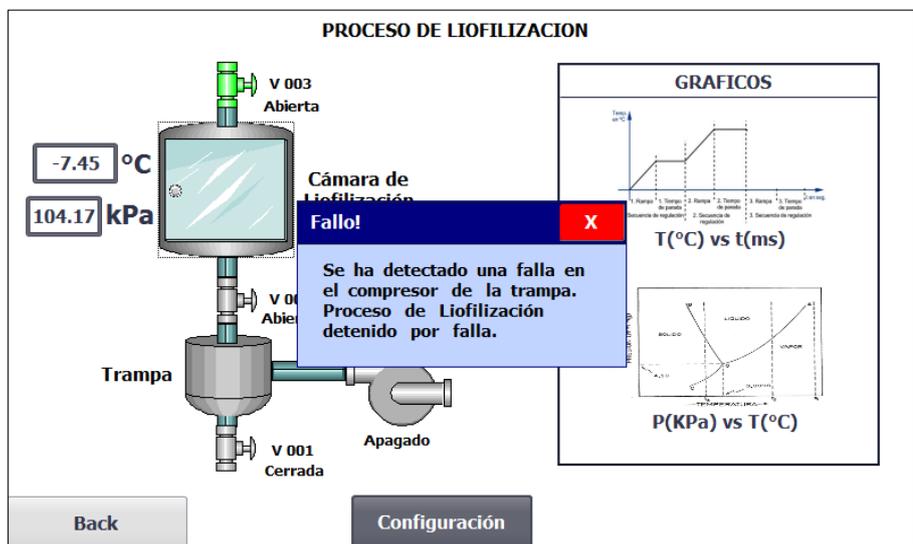


Figura 3.29: Activación del mensaje de aviso por falla en el compresor de la trampa.

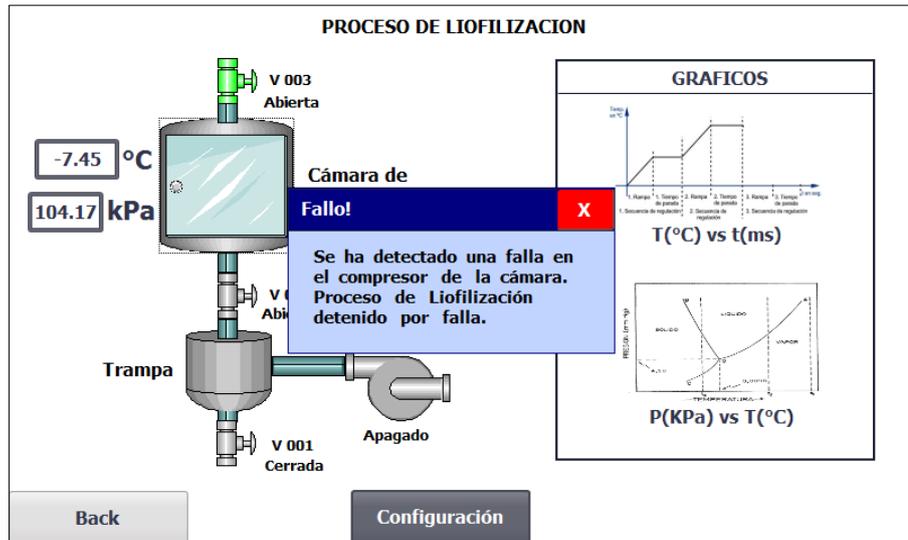


Figura 3.30: Activación del mensaje de aviso por falla en el compresor de la trampa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el presente proyecto se ha cumplido con el objetivo de diseñar un sistema SCADA de la automatización de una planta liofilizadora, para el monitoreo y control de las variables del proceso. Donde, el dimensionamiento mediante normas NEC (National Electrical Code), de los dispositivos de protección de tiempo inverso y del calibre de los conductores junto con su respectivo aislante térmico, permitirá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad en la instalación eléctrica, protegiendo la integridad del proceso y del operario.

La programación de la secuencia lógica del proceso de liofilización en el PLC S7-1200 mediante lenguaje de diagrama de funciones y su visualización en el HMI TP700 Comfort, facilitaría la supervisión de todas las etapas del proceso, así como también una programación más legible en caso de modificaciones y de la misma forma una interacción hombre maquina amigable, que reduce el tiempo de capacitación de los operadores para el uso del liofilizador.

La inclusión de una etapa de mantenimiento en el sistema de automatización del proceso facilitaría, la realización de pruebas de funcionamiento de las unidades de refrigeración, así como la comprobación de los rangos de operación, o pruebas para localizar fugas en el sistema de vacío, evitando de esta manera fallas durante el proceso de liofilización.

Con el fin de que el PLC controle todas las acciones del proceso, se debería reemplazar los dos termostatos de las unidades de refrigeración, que realizan la desenergización de las válvulas de "Pump down" al momento de que el evaporador alcance su temperatura mínima, con un módulo SM 1231 TC y dos termocuplas tipo K. Así como también se sugiere, el uso de señales en los actuadores que permitan confirmar al PLC el accionamiento de los equipos, una vez que este envíe las señales de activación.

Por otra parte, se debería realizar la identificación de la función de transferencia del liofilizador, para de esta forma poder diseñar un control de temperatura que mejore la eficiencia del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. L. Colina, Deshidratación de Alimentos, 1^{era} Ed. México: Trillas, 2010.
- [2] NFPA 70, National Electrical Code, 2014 Ed. United States: 2013.
- [3] Siemens. (2017, 12 08). CPU 1214C AC/DC/RELAY Technical data [Online]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/238877?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>.
- [4] Siemens. (2017, 12 08). SIMATIC HMI TP700 COMFORT Technical data [Online]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/127118?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>.
- [5] Siemens. (2017, 12 08). SITOP PSU200M Technical data [Online]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/86408?pdtd=td&dl=en&lc=en-WW>.
- [6] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, 5^{ta} Ed. Madrid: Prentice Hall, 2010.
- [7] G. Enríquez Harper, Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales, 2^{da} Ed. México: Limusa, 2003.
- [8] A. Creus Solé, Instrumentación Industrial, 8^a Ed. México: Alfaomega, 2010.
- [9] G. Villalobos Ordaz, R. Rico Romero, F. Ortiz Hernández y M. Montúfar Navarro, Medición y Control de Procesos Industriales, 1^{ra} Ed. México: 2006.
- [10] F. Cembranos Nistal, Automatismos eléctricos, neumático e hidráulicos, 3^a Ed.: Paraninfo, 2002.
- [11] *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters*, International Electrotechnical Commission, IEC 60947-4-1, 2009.
- [12] V. Guerrero, R. Yuste y L. Martínez, Comunicaciones Industriales, 1^{era} Ed. México: Alfaomega, 2010.
- [13] A. Rodríguez Penin, Comunicaciones industriales, 1^{era} Ed. España: Marcombo, 2008.

- [14] D. Alciatore y M. Hirstand, Introduction to Mechatronics and Measurement System, 4^{ta} Ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [15] A. Creus Solé, Neumática e Hidráulica, España: Marcombo, 2007.
- [16] J. Acedo Sánchez, Control Avanzado de Procesos. Teoría y práctica, España: Díaz de Santos, 2004.
- [17] C. Smith y A Corripio, Principles and Practice of Automatic Process Control, 2^{da} Ed. EEUU: John Wiley & Sons Incorporated, 1997.
- [18] W. Bolton, Ingeniería de Control, 2^{da} Ed. Mexico: Alfaomega, 2001.
- [19] A. Rodríguez, Sistemas SCADA, 2^{da} Ed. España: Marcombo, 2007.
- [20] A. Roca, Control Automático de Procesos Industriales, España: Diaz de Santos, 2014.
- [21] N. Bratu y E. Campero, Instalaciones Eléctricas conceptos básicos y diseño, 2^{da} Ed. México: Alfaomega, 1995.

ANEXOS

ANEXO A1.

a) P&ID del liofilizador.

Tabla de nomenclatura de los elementos del diagrama P&ID del liofilizador.	
Nombre	Descripción
C 001	Compresor de la unidad de refrigeración de la trampa.
CN 01	Condensador de la unidad de refrigeración de la trampa.
V 004	Válvula solenoide para "Pump Down" del compresor de la unidad de refrigeración de la trampa.
E 01	Evaporador de la unidad de refrigeración de la trampa.
T 01	Trampa de vapor de agua.
C 002	Compresor de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
CN 02	Condensador de la unidad de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
V 005	Válvula solenoide para "Pump Down" del compresor de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
E 02	Evaporador de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
D 01	Deposito contenedor de alcohol.
RT 01	Resistencia térmica.
P 002	Bomba de circulación.
A 01	Bandeja para transferencia de calor por contacto.
CL 01	Cámara de liofilización.
P 001	Bomba para la generación de vacío.
V 001	Válvula de desagüe.
V 002	Válvula de conexión.
V 003	Válvula de alivio.

Tabla 1: Nomenclatura del P&ID del liofilizador.

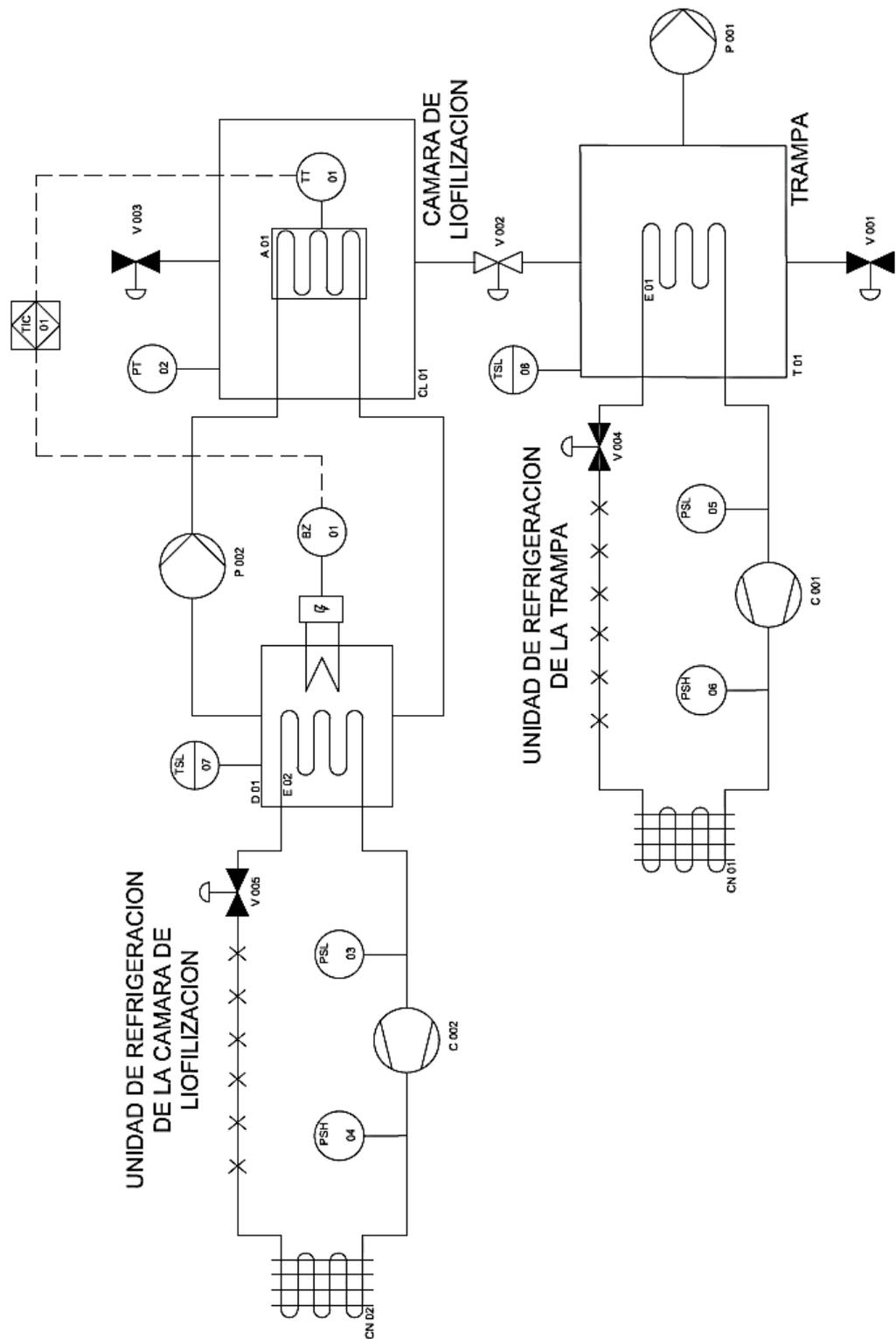


Figura A1.1: P&ID del Liofilizador.

b) Tablas del NEC.

Tamaño AWG o kcmil	Clasificación de los conductores por temperatura						Tamaño AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Tipo TW, UF	Tipo RHW, THHW, ZW, *	Tipo TBS, SA, SIS, **	Tipo TW, UF	Tipo RHW, THHW, *	Tipo TBS, SA, SIS, ***	
	Cobre			Aluminio o aluminio revestido de cobre			
18	-	-	14	-	-	-	-
16	-	-	18	-	-	-	-
14	15	20	25	-	-	-	-
12	20	25	30	15	20	25	12
10	30	35	40	25	30	35	10
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

* THW, THWN, XHHW, USE.

** FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2.

*** THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2

Tabla 2: Calibre de conductor basado en temperatura ambiente de 30°C [2].

Motores de una fase, corriente alterna a plena carga.				
Caballos de fuerza	115 V	200 V	208 V	230 V
1/6	4.4	2.5	2.4	2.2
1/4	5.8	3.3	3.2	2.9
1/3	7.2	4.1	4.0	3.6
1/2	9.8	5.6	5.4	4.9
3/4	13.8	7.9	7.6	6.9
1	16	9.2	8.8	8.0
1½	20	11.5	11.0	10
2	24	13.8	13.2	12
3	34	19.6	18.7	17
5	56	32.2	30.8	28
7½	80	46.0	44.0	40
10	100	57.5	55.0	50

Tabla 3: Corriente a plena carga de motores de corriente alterna de una fase [2].

c) Diagrama de Fuerza.

Dispositivos de control del diagrama de fuerza.	
Nombre	Descripción
K1	Bobina del contactor de la unidad de refrigeración de la trampa.
K2	Bobina del contactor de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
K11	Bobina del relé para la señal de fallo por alta presión del compresor de la unidad de refrigeración de la trampa.
K12	Bobina del relé para la señal de fallo por alta presión del compresor de la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
K3	Bobina del contactor de la bomba de vacío.
K4	Bobina del contactor de la bomba de circulación.
K5	Bobina del relé de la resistencia térmica.

Tabla 4: Tabla de dispositivos de control (contactores y relés).

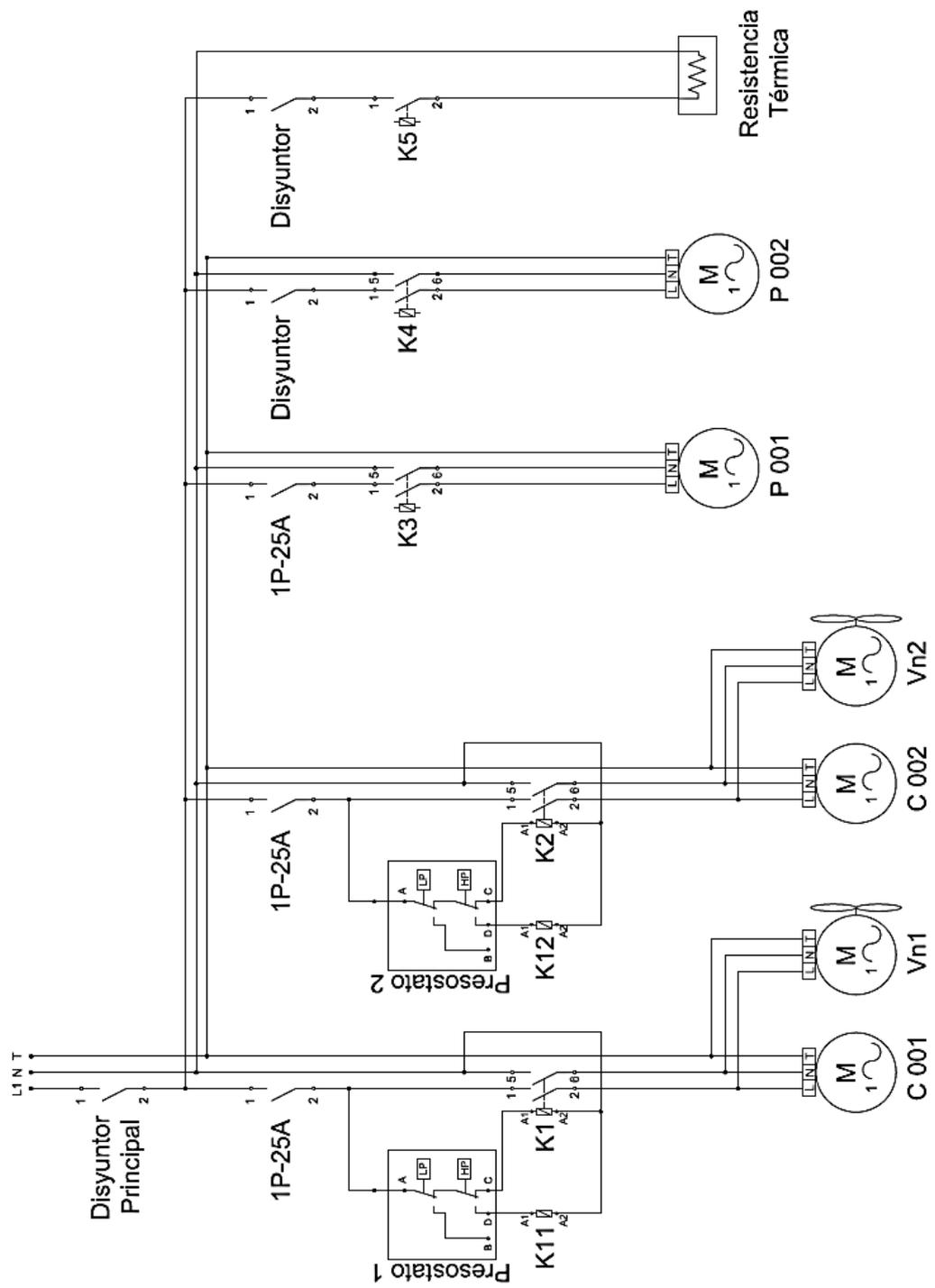


Figura 2: Diagrama de fuerza.

d) Diagrama de control.

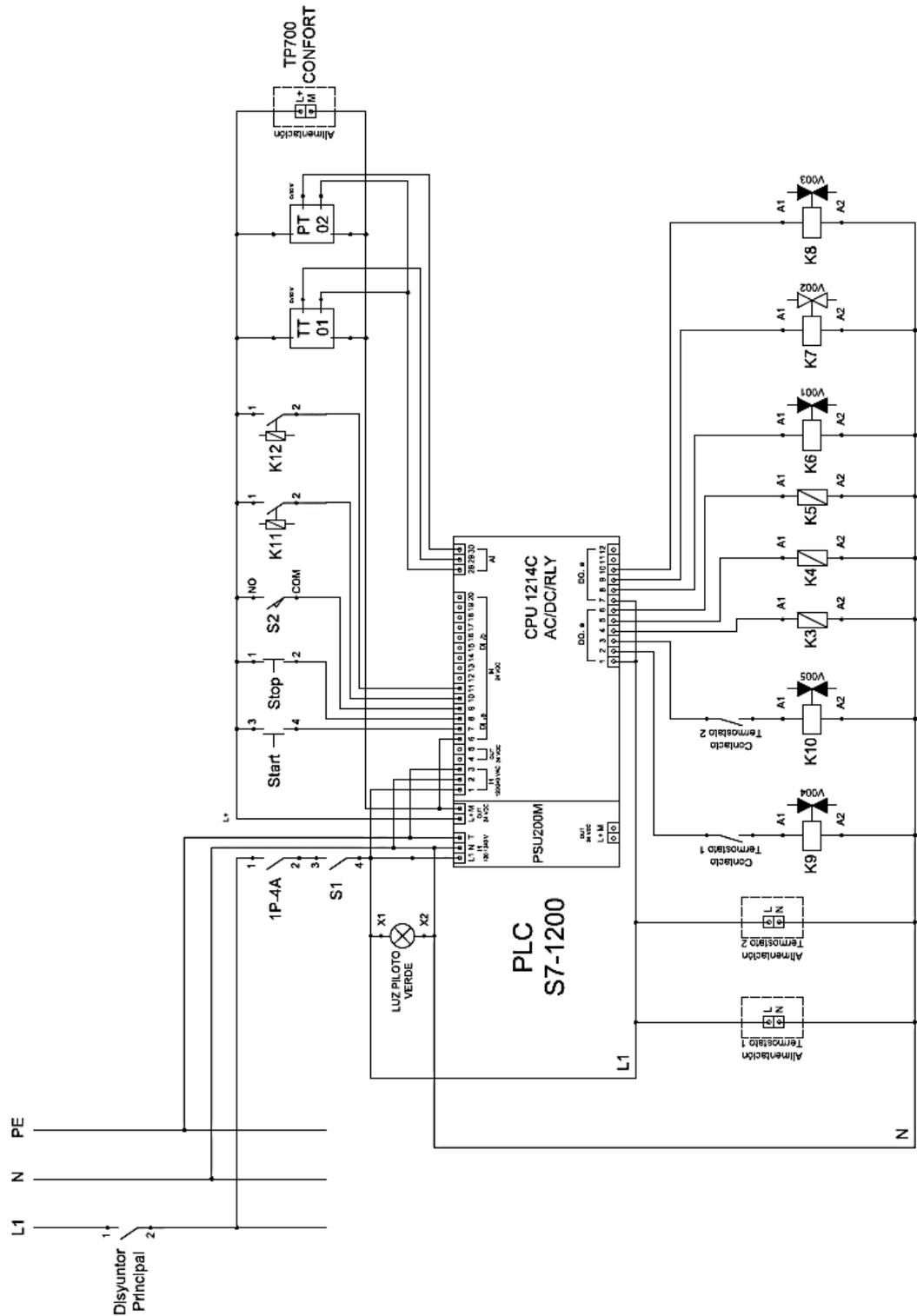


Figura 3: Diagrama de control.

e) Diseño del tablero eléctrico.

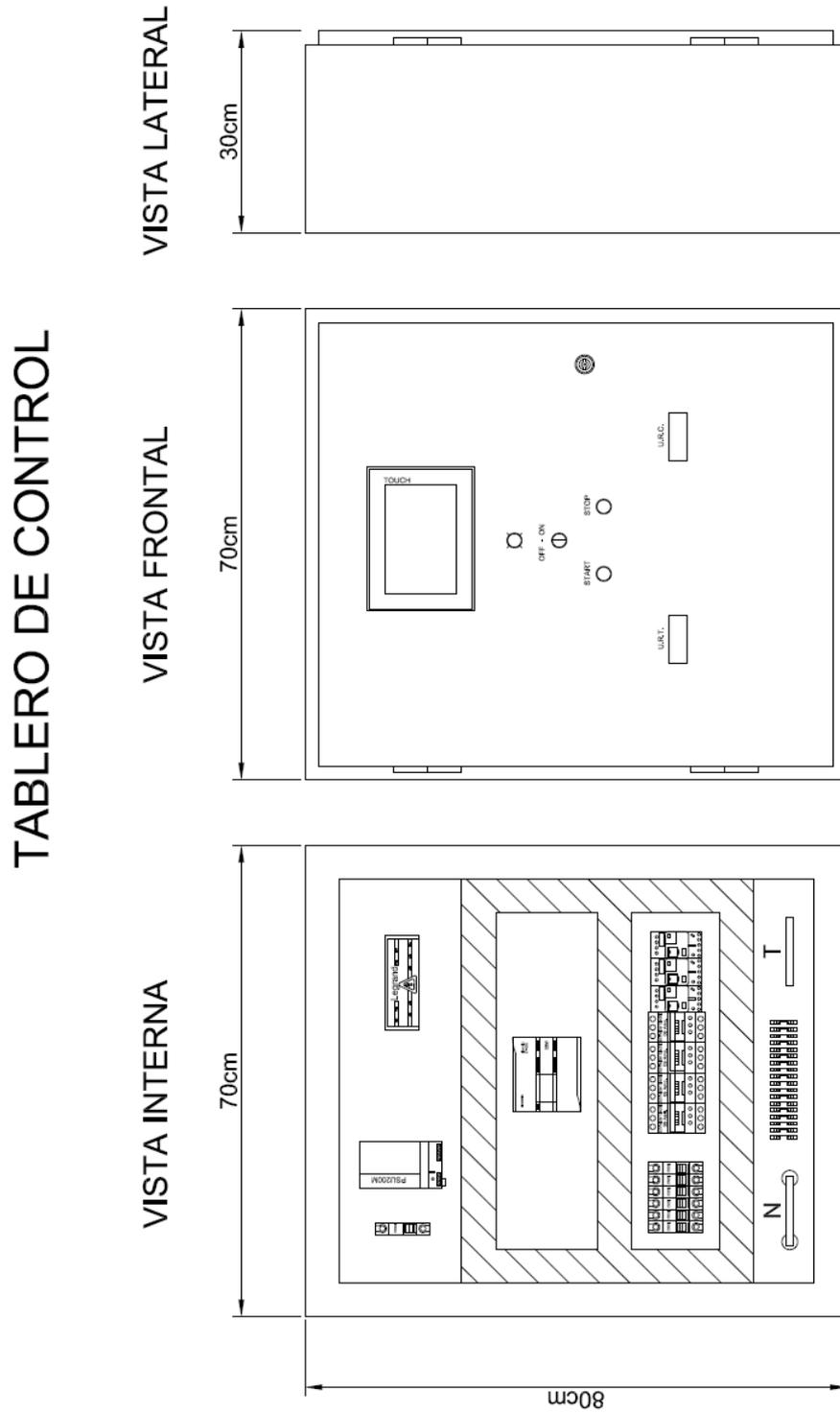


Figura 4: Tablero de control del Liofilizador.

ANEXO A2.

a) Tabla de variables.

Tabla de variables: E/S digitales y analógicas		
Nombre	Dirección	Descripción
Inicio	%I0.0	Señal para comenzar el proceso.
Paro_Emergencia	%I0.1	Señal que permite detener el proceso en cualquier instante.
Camara_Cerrada	%I0.2	Señal que indica que la cámara de liofilización CL 01 está cerrada.
PSH1	%I0.3	Señal que indica una falla en el compresor de la trampa.
PSH2	%I0.4	Señal que indica una falla en el compresor de la cámara.
Und_Refr_Trampa	%Q0.0	Señal de habilitación para la unidad de refrigeración de la Trampa.
Bomba_Vacio	%Q0.2	Señal de habilitación para la bomba P 001 del sistema de vacío.
Valv_Desague	%Q0.5	Señal que habilita la válvula V 001 para el desagüe de la trampa.
Valv_Conexion_Trampa_Camara	%Q0.6	Señal que habilita la válvula V 002 para la conexión entre la trampa y la cámara de liofilización.

Tabla de variables: E/S digitales y analógicas		
Nombre	Dirección	Descripción
Und_Refr_Camara	%Q0.1	Señal de habilitación para la unidad de refrigeración de la cámara de liofilización.
Bomba_Circulacion	%Q0.3	Señal de habilitación para la bomba P 002 que permite la circulación del alcohol en la bandeja A 01.
Resistencia_Termica	%Q0.4	Señal que habilita el paso de corriente a la resistencia calorífica.
Sensor_Temp_Camara	%IW100	Señal que indica la temperatura del producto en la cámara de liofilización.
Sensor_Presion_Camara	%IW102	Señal que indica la presión en la cámara de liofilización.
Valv_alivio	%Q0.7	Señal que habilita la válvula V 003.

Tabla 5: Nombre de las variables para las entradas y salidas del PLC con su dirección y descripción.

b) Tabla de condiciones de transiciones e instrucciones.

Condición de transición e instrucciones	
Condición de transición de la Etapa 10 a la Etapa 1.	Se debe abrir la puerta de la cámara de liofilización (Camara_Cerrada = 0).
Instrucciones de la Etapa 1.	Nada.
Condición de transición de la Etapa 1 a la Etapa 2.	Se ingresan dos parámetros por pantalla: tiempo de duración del control entre cada rampa en minutos (Set_Tiempo_Histeresis) y la diferencia entre cada salto de temperatura en °C (Set_Dif_Temp). Estos parámetros deben

Condición de transición e instrucciones	
	<p>ser mayores a cero (Set_Tiempo_Histeresis & Set_Dif_Temp > 0). Además, el valor ingresado en la diferencia de temperatura debe estar dentro del rango permitido en °C (Set_Dif_Temp <= Rng_Temp). Adicionalmente se debe confirmar que se han ingresado los datos (Parametros_Ingresados = 1). Y cerrar cámara de liofilización para continuar a la siguiente etapa (Camara_Cerrada = 1).</p>
Instrucciones de la Etapa 2.	<p>Se activan los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización (Und_Refr_Camara = 1) y de la trampa (Und_Refr_Trampa = 1). También se activa la bomba de circulación (Bomba_Circulacion = 1).</p>
Condición de transición de la Etapa 2 a la Etapa 3.	<p>La temperatura en la cámara de liofilización debe alcanzar la temperatura mínima en °C del sistema (Temp_Camara <= Temp_min).</p>
Instrucciones de la Etapa 3.	<p>Se mantienen activos los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización (Und_Refr_Camara = 1) y de la trampa (Und_Refr_Trampa = 1). Como también la bomba de circulación (Bomba_Circulacion = 1). Además, se activa la bomba de vacío (Bomba_Vacio = 1).</p>

Condición de transición e instrucciones	
Condición de transición de la Etapa 3 a la Etapa 4.	La presión en la cámara de liofilización debe estar por debajo del punto triple en KPa ($Presion_Camara \leq 0.61$).
Condición de transición de la Etapa 8 a la Etapa 4.	Nada.
Instrucciones de la Etapa 4.	Se mantienen activos los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización ($Und_Refr_Camara = 1$) y de la trampa ($Und_Refr_Trampa = 1$). Como también la bomba de circulación ($Bomba_Circulacion = 1$) y bomba de vacío ($Bomba_Vacio = 1$). Además, se activa la resistencia térmica ($Resistencia_Termica = 1$).
Condición de transición de la Etapa 4 a la Etapa 5.	Se debe alcanzar la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro ($Real_Dif_Temp \geq Set_Dif_Temp$).
Condición de transición de la Etapa 7 a la Etapa 5.	Nada.
Instrucciones de la Etapa 5.	Se mantienen activos los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización ($Und_Refr_Camara = 1$) y de la trampa ($Und_Refr_Trampa = 1$). Como también la bomba de circulación ($Bomba_Circulacion = 1$) y bomba de vacío ($Bomba_Vacio = 1$). Se mantiene activa la resistencia térmica ($Resistencia_Termica = 1$).
Condición de transición de la Etapa 5 a la Etapa 6.	Por acción de la resistencia térmica la real diferencia de temperatura en la cámara de

Condición de transición e instrucciones	
	liofilización debe superar la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro (Real_Dif_Temp >= Set_Dif_Temp).
Instrucciones de la Etapa 6.	Se mantienen activos los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización (Und_Refr_Camara = 1) y de la trampa (Und_Refr_Trampa = 1). Como también la bomba de circulación (Bomba_Circulacion = 1) y bomba de vacío (Bomba_Vacio = 1).
Condición de transición de la Etapa 6 a la Etapa 7.	Por ausencia del accionar de la resistencia térmica la real diferencia de temperatura en la cámara de liofilización debe ser inferior a la diferencia de temperatura que se ingresó como parámetro (Real_Dif_Temp <= Set_Dif_Temp).
Instrucciones de la Etapa 7.	Se mantienen activos los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización (Und_Refr_Camara = 1) y de la trampa (Und_Refr_Trampa = 1). Como también la bomba de circulación (Bomba_Circulacion = 1) y bomba de vacío (Bomba_Vacio = 1).
Condición de transición de la Etapa 5 a la Etapa 8.	Se debe cumplir con el tiempo de duración del control entre cada rampa (Set_Tiempo_Histeresis).
Condición de transición de la Etapa 6 a la Etapa 8.	
Instrucciones de la Etapa 8.	Se mantienen activos los sistemas de refrigeración de la cámara de liofilización

Condición de transición e instrucciones	
	(Und_Refr_Camara = 1) y de la trampa (Und_Refr_Trampa = 1). Como también la bomba de circulación (Bomba_Circulacion = 1) y bomba de vacío (Bomba_Vacio = 1).
Condición de transición de la Etapa 4 a la Etapa 9.	La temperatura de la cámara de liofilización debe alcanzar la temperatura máxima del sistema (Temp_Camara >= Temp_max).
Condición de transición de la Etapa 5 a la Etapa 9.	
Condición de transición de la Etapa 6 a la Etapa 9.	
Instrucciones de la Etapa 9.	Se activa la válvula de desagüe (Valv_alivio = 1).
Condición de transición de la Etapa 9 a la Etapa 10.	Proceso de liofilización ha terminado, se debe pulsar un botón virtual programado por HMI para finalizar (Finalizar = 1).
Instrucciones de la Etapa 10.	Nada.

Tabla 6: Condición de transición e instrucción.

c) **Secuencia lógica del proceso.**

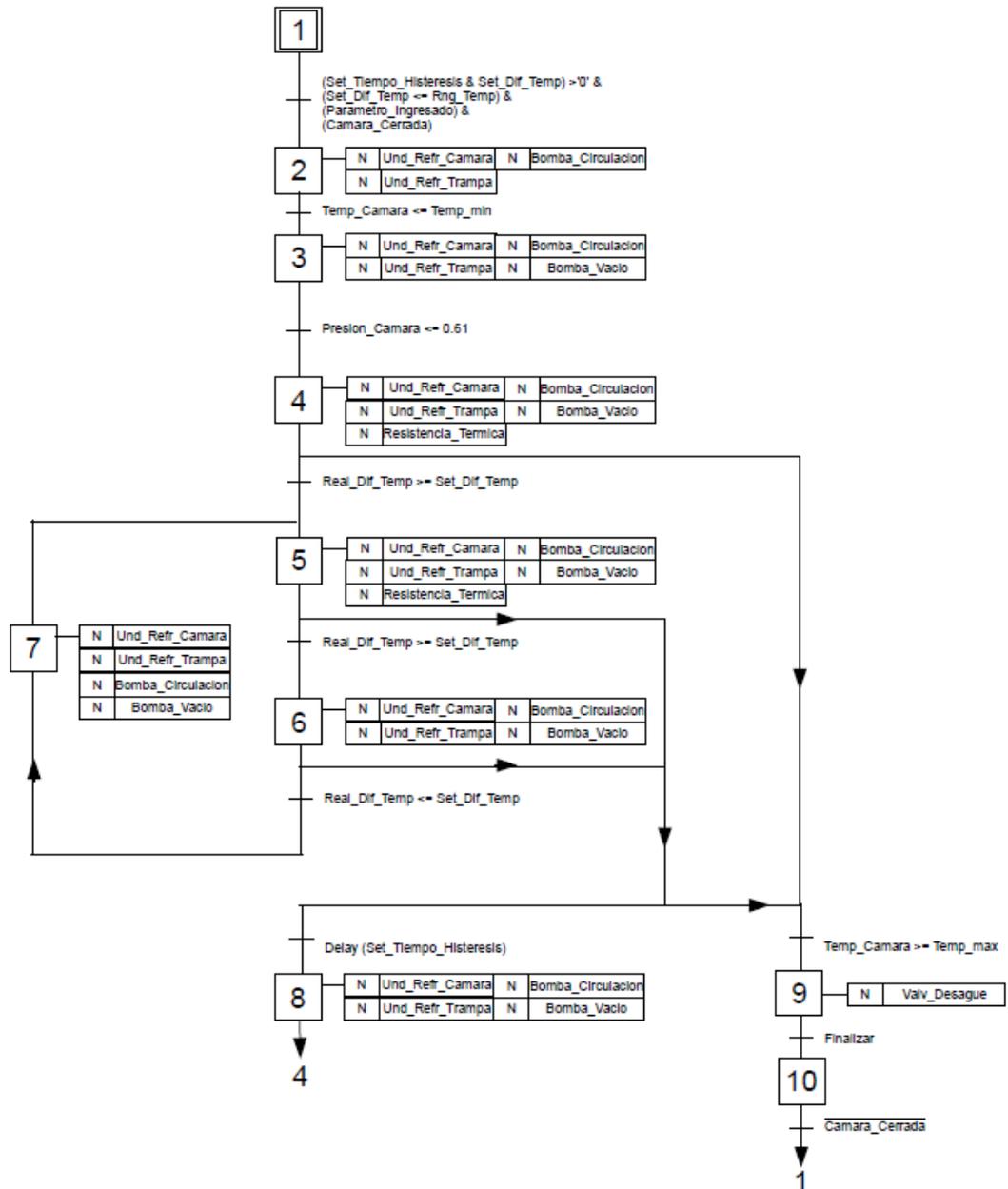


Figura 5: Diagrama lógico secuencial del proceso.

d) **Validaciones.**

Con el fin de evitar errores al momento de la ejecución de la programación del proceso, se realizaron diferentes tipos de validaciones para que los

parámetros ingresados en las variables tanto en la diferencia de temperatura como el tiempo de histéresis estén dentro de rangos permitidos. Entre las ya mencionadas validaciones se tiene, en primera instancia, la validación correspondiente al ingreso del parámetro de diferencia de temperatura, el cual no debe superar el rango permitido de operación. La siguiente Figura 6 muestra la programación que se realizó para la validación correspondiente a esta instancia, activando a su vez una variable la cual permitirá la aparición de un aviso indicando al operador del error cometido.

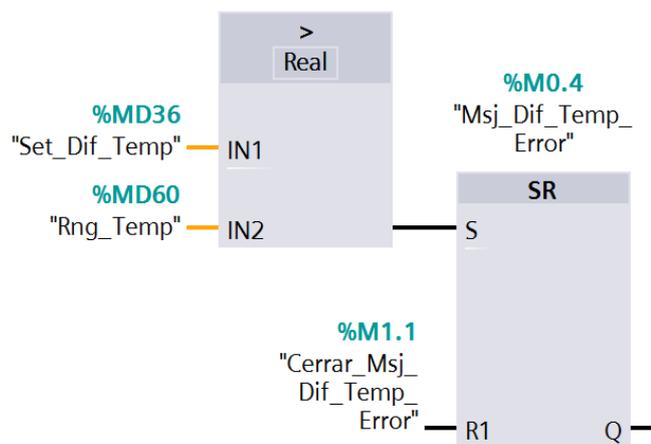


Figura 6: Programación para validar el ingreso de un parámetro fuera de rango.

Como se puede observar en la Figura 7, se mostrará un aviso indicando que el valor ingresado supera al rango permitido (Rng_Temp) y que el operador proceda a ingresar nuevamente un valor, el cual se encuentre dentro del rango de operación permitido.

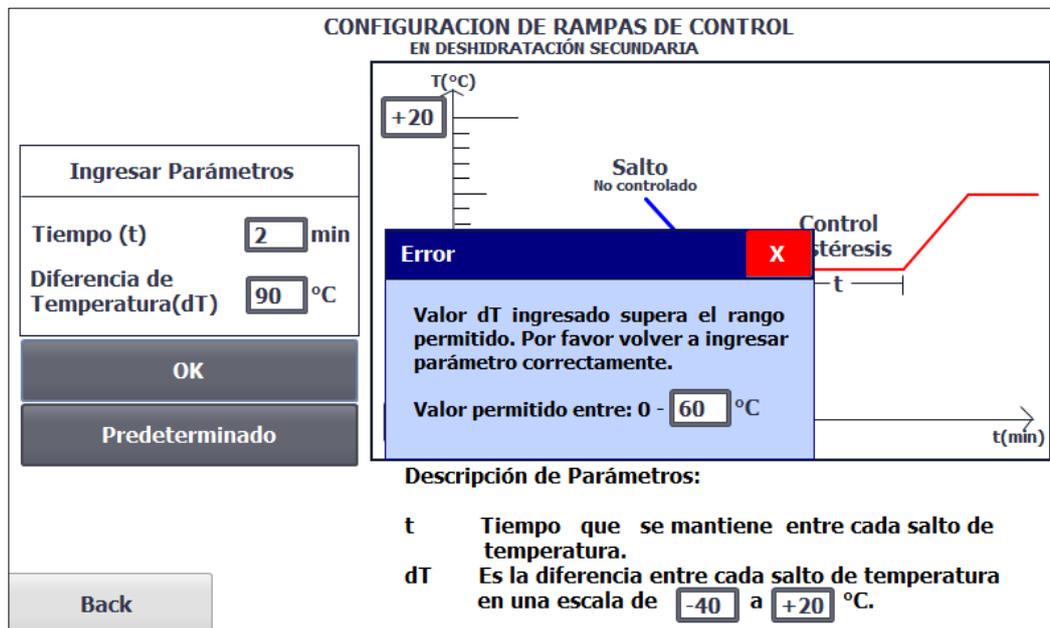


Figura 7: Ventana con aviso de valor ingresado supera el rango.

Para obtener la variable para el rango de operación (Rng_Temp), se realiza la operación:

$$Rng_Temp = Temp_max - Temp_min \quad (1)$$

Los valores de (Temp_max) y de (Temp_min) son constantes del sistema los cuales dependen de la capacidad de las unidades de refrigeración y de las especificaciones de operación requeridas para el proceso de liofilización. La siguiente Figura 8 muestra los valores de las constantes y la operación entre las mismas.

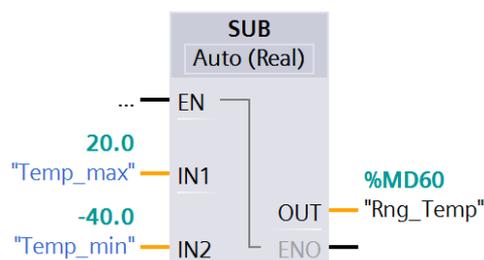


Figura 8: Programación para la obtención del rango de temperatura

Adicionalmente, se tiene la correspondiente validación al ingreso del valor cero para cualquiera de los dos parámetros, la siguiente Figura 9 muestra la programación realizada. Como se puede apreciar en la Figura 10, en caso de ingresar cero en cualquiera de los dos parámetros, se mostrará un mensaje indicando al operador su error y que proceda a corregir.

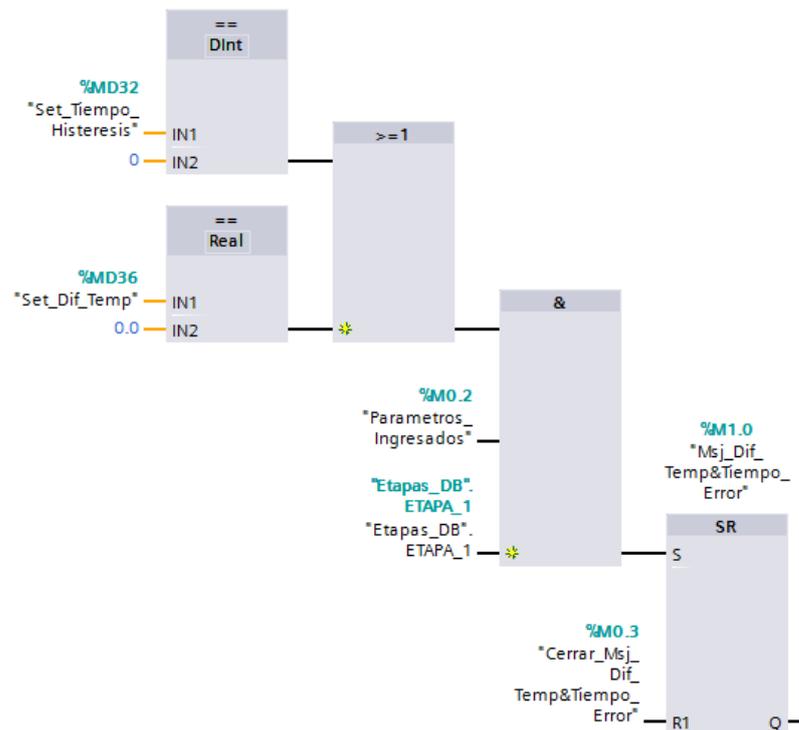


Figura 9: Programación para validar el ingreso de un parámetro no permitido.

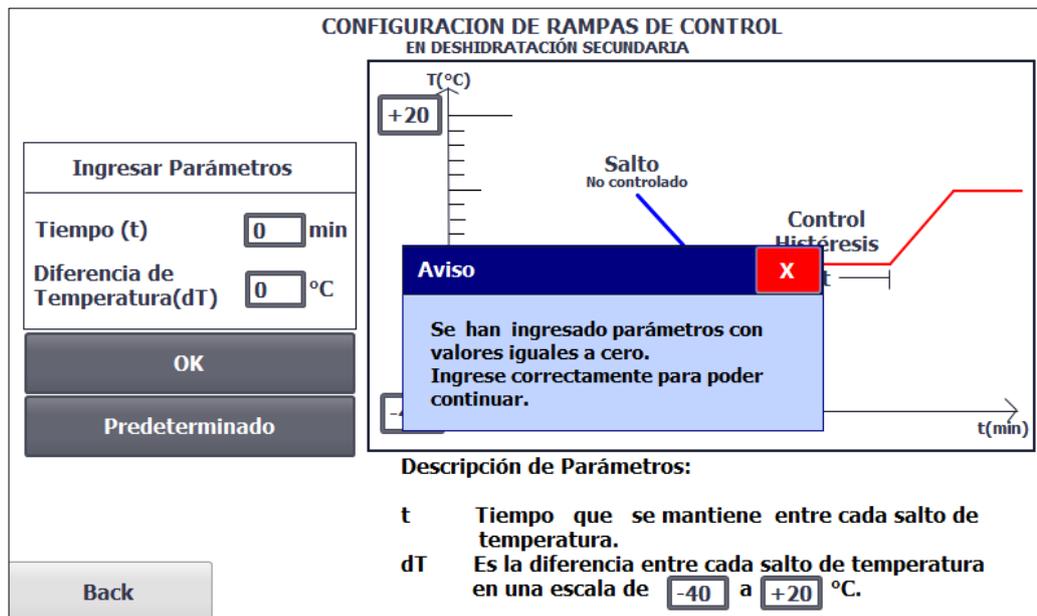


Figura 10: Ventana con aviso de valor ingresado no está permitido.

e) Ingreso de valores predeterminados.

Debido a la repetitividad del proceso y para una mayor comodidad para el operador como se mencionó en el capítulo 2, se añade la opción para que el ingreso de los parámetros sea mediante valores ya predefinidos con anterioridad, estos valores pueden editarse y guardarse respectivamente, cabe recalcar que los valores establecidos también contienen sus debidas validaciones. La siguiente Figura 11 muestra la ventana diseñada para el ingreso de los parámetros predefinidos, consta de dos diferentes opciones en la que el operador puede seleccionar solamente una, así mismo, puede editar el valor del parámetro que desee y luego almacenarlo.

PRODUCTOS PREDETERMINADOS

Seleccionar Producto

Producto #1	Producto #2
Tiempo (t) <input style="width: 40px;" type="text" value="2"/> min Diferencia de Temperatura(dT) <input style="width: 40px;" type="text" value="20"/> °C	Tiempo (t) <input style="width: 40px;" type="text" value="3"/> min Diferencia de Temperatura(dT) <input style="width: 40px;" type="text" value="10"/> °C
<input type="button" value="Editar"/> <input type="button" value="Guardar"/>	<input type="button" value="Editar"/> <input type="button" value="Guardar"/>
<input type="button" value="Seleccionar"/>	<input type="button" value="Seleccionar"/>

Figura 11: Ventana para selección de parámetros predeterminados.

Para el debido almacenamiento de los valores establecidos por el operador, se creó una base de datos la cual solo contiene los 4 parámetros a almacenar, como se puede observar en la Figura 12, se marca la opción de remanencia para que al desconectar el PLC, no se pierdan los valores establecidos en las variables.

#	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanencia
1	Static			<input type="checkbox"/>
2	Tiempo_Histeresis_Pro_1	DInt	0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Dif_Temp_Pro_1	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Tiempo_Histeresis_Pro_2	DInt	0	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Dif_Temp_Pro_2	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 12: Variables de la base de datos de parámetros predeterminados con remanencia.

f) Obtención de la variable “Real_Dif_Temp”.

Durante el desarrollo de la programación de la secuencia del proceso, se establecieron operaciones para facilitar el desarrollo y control del proceso, a continuación, se detallan las operaciones realizadas.

Con el fin de obtener el número de saltos que debe realizar el proceso, se usó la instrucción “DIV” para realizar la división entre dos valores reales, en el dividendo el rango de temperatura (“Rng_Temp”) y como divisor la diferencia de temperatura que se ingresa por pantalla virtual (“Set_Dif_Temp”), el resultado de la operación se lo almacena en la variable (“Num_Rampas”). La Figura 13 muestra la programación de la respectiva operación.

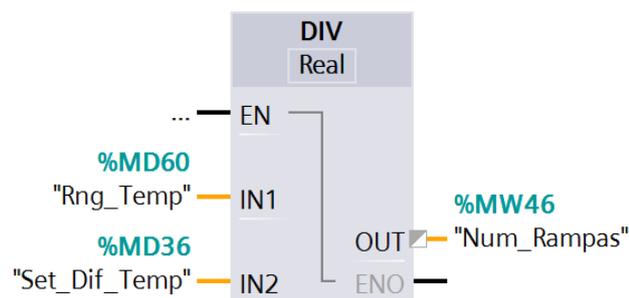


Figura 13: Programación para la obtención de la variable “Num_Rampas”.

Adicionalmente, mediante la instrucción de contador ascendente “CTU”, se procede a realizar el conteo de rampas que se van realizando durante el proceso, la cual aumenta en ‘1’ el valor de la variable (“Cont_Num_Rampas”) siempre que se detecte un flanco de subida en la entrada “CU” del contador, es decir, cada que la variable (“ETAPA_8”) del bloque de datos (“Etapas_DB”) pase a TRUE, se procederá a realizar el aumento de la variable (“Cont_Num_Rampas”). La siguiente Figura 14 muestra la programación realizada.

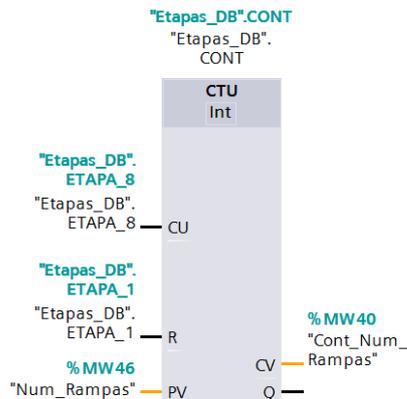


Figura 14: Programación para la obtención de la variable “Cont_Num_Rampas”.

Por otra parte, mediante la instrucción MUL se realiza la multiplicación entre las variables (“Set_Dif_Temp”) y (“Cont_Num_Rampas”), almacenando el resultado de la operación en la variable (“Salto_Temp”) para luego realizar la suma, mediante la instrucción ADD, de las variables (“Temp_min”) y (“Salto_Temp”), almacenando el total en la variable (“Temp_Ref_Rampa”). Todas estas operaciones están descritas en la siguiente ecuación (2):

$$Temp_Ref_Rampa = Temp_min + (Set_Dif_Temp \times Cont_Num_Rampas) \quad (2)$$

La ecuación descrita es la temperatura de referencia entre cada salto que se va a realizar durante el proceso, en otras palabras, cada que el contador aumente su valor, cambia la referencia que debe alcanzar y mantener la temperatura en la cámara. La siguiente Figura 15 muestra la programación para la obtención de la ecuación (2).



Figura 15: Programación para la obtención de la variable “Temp_Ref_Rampa”.

Finalmente, mediante la instrucción “SUB” se realiza la diferencia entre las variables (“Temp_Camara”) y (“Temp_Ref_Rampa”) almacenando el resultado en la variable (“Real_Dif_Temp”). En la entrada habilitadora de la instrucción “SUB” se conectan las etapas en las que se requiere que se realice la diferencia, por lo que, intervienen las variables: (ETAPA_4), (ETAPA_5) y (ETAPA_6) del bloque de datos. La siguiente Figura 16 muestra la programación realizada para la obtención de la variable (“Real_Dif_Temp”).

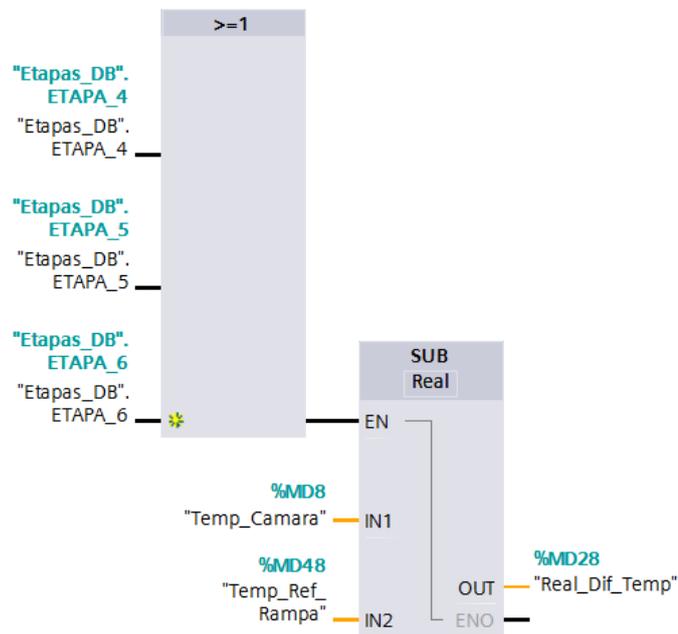


Figura 16: Programación para la obtención de la variable “Real_Dif_Temp”.

ANEXO A3.

a) Formas de inicialización.

Al encender los equipos de la planta liofilizadora se mostrará en el HMI la pantalla inicial. Véase Figura 17.



Figura 17: Pantalla inicial del proceso

Desde la pantalla inicial, si desea empezar con el proceso de liofilización, debe presionar el botón "Proceso". Por otra parte, si desea realizar pruebas a los equipos de manera individual debe presionar el botón de "Mantenimiento".

b) Proceso de liofilización.

La inicialización del proceso de liofilización se lo puede realizar de 2 maneras:

- Mediante el botón de "Configuración" de la pantalla HMI.
- Mediante el botón "INICIO" del tablero de control.

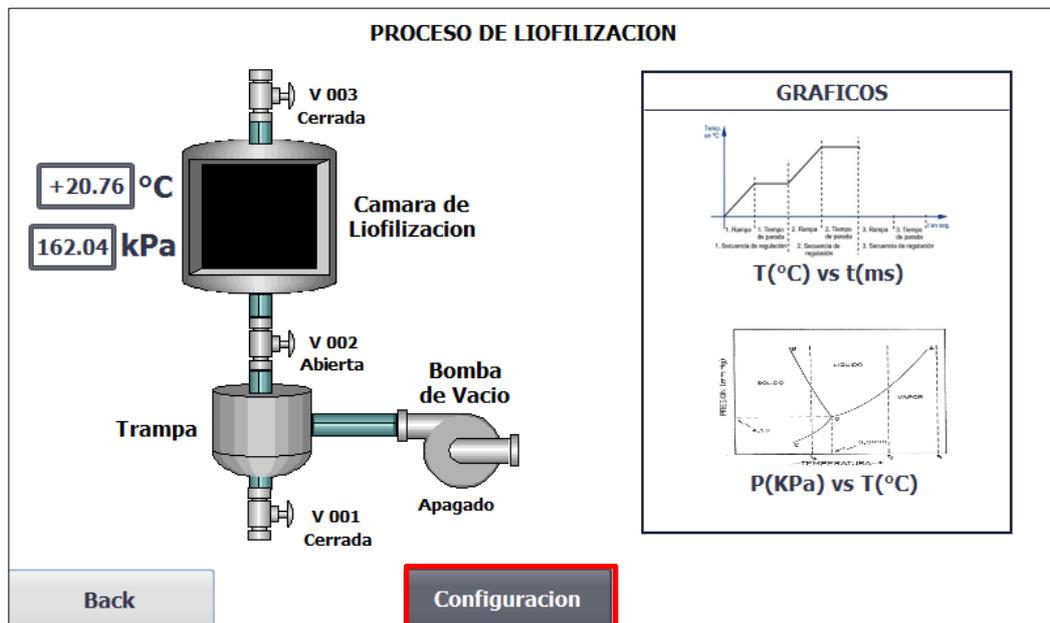


Figura 18: Pantalla de supervisión del HMI.

Ingreso de parámetros.

Una vez ya ingresado el producto en la cámara de liofilización, para ingresar los parámetros que se usarán durante el proceso de liofilización, debe presionar los indicadores de la pantalla táctil HMI o puede ingresar a los valores predeterminados tal como se muestra en la Figura 19. Luego de haber ingresado los parámetros y haber cerrado la puerta de la cámara de liofilización, presione OK para continuar y dar comienzo al proceso de liofilización (Ver Figura 20).

Terminado el proceso de liofilización, se mostrará en pantalla un aviso indicando que el proceso ha concluido exitosamente, presionar el botón de OK y luego retire el producto. Una vez cerrada la puerta, automáticamente el programa empezará nuevamente desde la pantalla de MAIN para iniciar un nuevo proceso o si se desea acceder a la pantalla de Mantenimiento.

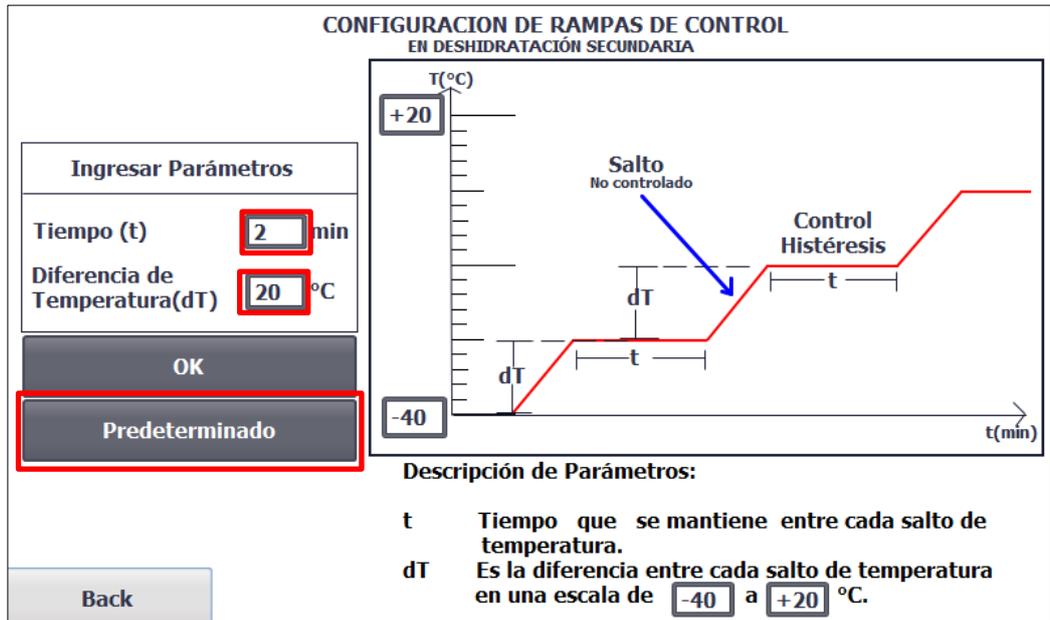


Figura 19: Métodos de introducir parámetros.

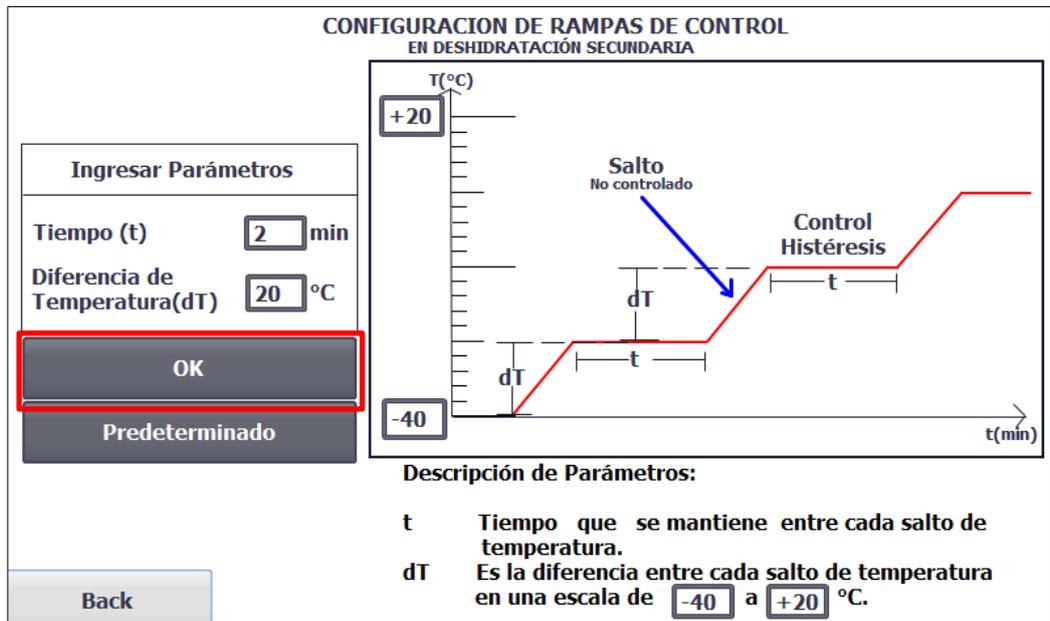


Figura 20: Confirmación de parámetros a ingresar.

c) Inicialización de Mantenimiento.

Desde la pantalla de Mantenimiento, se puede realizar la activación individual de equipos al presionar los botones indicados en la siguiente Figura 21.

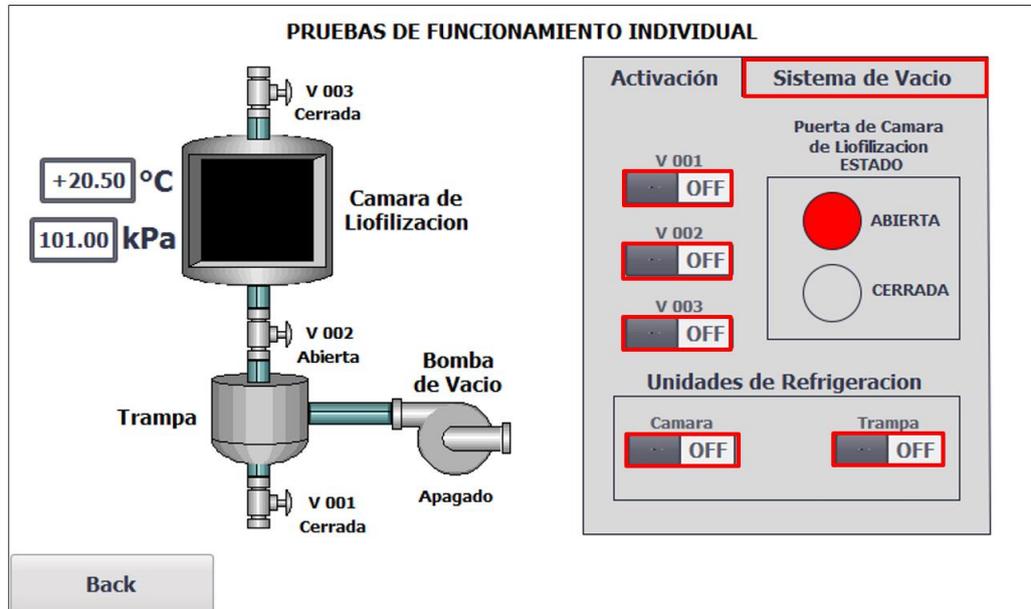


Figura 21: Pantalla de Mantenimiento indicando iconos para activación de equipos.

Presionando la pestaña "Sistema de Vacío" se accede a la activación de la bomba de vacío y también la visualización de una gráfica de Presión vs tiempo. La siguiente Figura 22 muestra el contenido de la pestaña de "Sistema de Vacío".

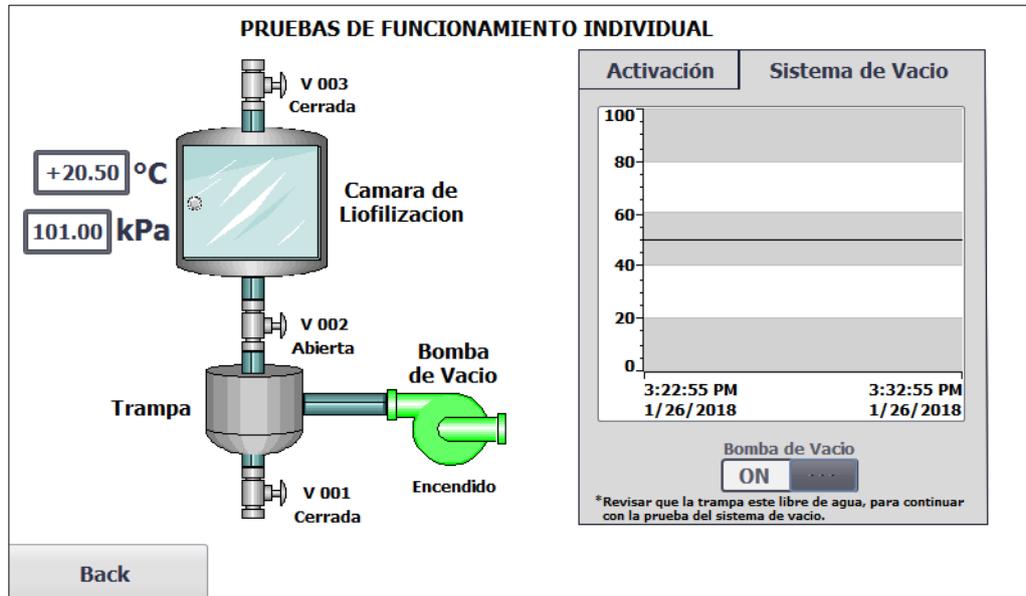


Figura 22: Pantalla de Mantenimiento, Sistema de Vacío.

d) Navegación entre pantallas.

La siguiente Figura 23 muestra un diagrama global de todas las pantallas y como se encuentran conectadas.

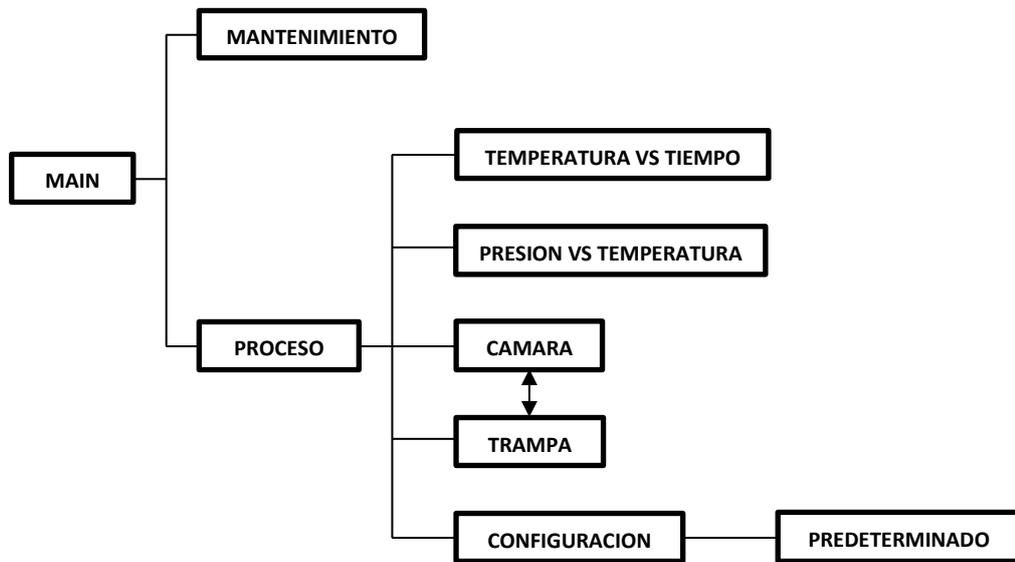


Figura 23: Diagrama global de las pantallas del HMI

Desde la pantalla de MAIN se puede acceder a las pantallas de “PROCESO” y “MANTENIMIENTO” por medio de los botones virtuales. Por otra parte, desde la pantalla de “PROCESO” se puede acceder a las siguientes pantallas: “CONFIGURACION”, “TRAMPA”, “CAMARA”, gráfica “TEMPERATURA VS TIEMPO” y gráfica de “PRESION VS TEMPERATURA” presionando los respectivos iconos en la pantalla del HMI, la siguiente Figura 24 muestra los iconos a presionar para acceder a las pantallas mencionadas. Por otra parte, mediante el botón virtual BACK se regresa a la pantalla anterior.

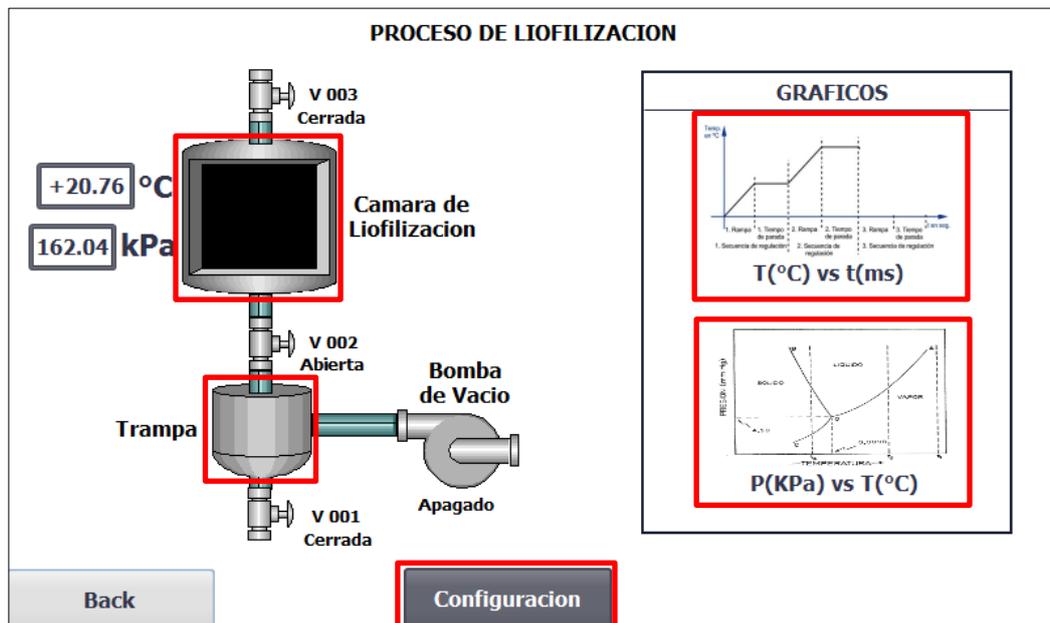


Figura 24: Pantalla de proceso indicando los botones para acceder a las otras pantallas.

Así mismo, desde la pantalla de CAMARA se puede acceder a la pantalla de TRAMPA y viceversa. Los botones virtuales se muestran en la Figura 25 y Figura 26.

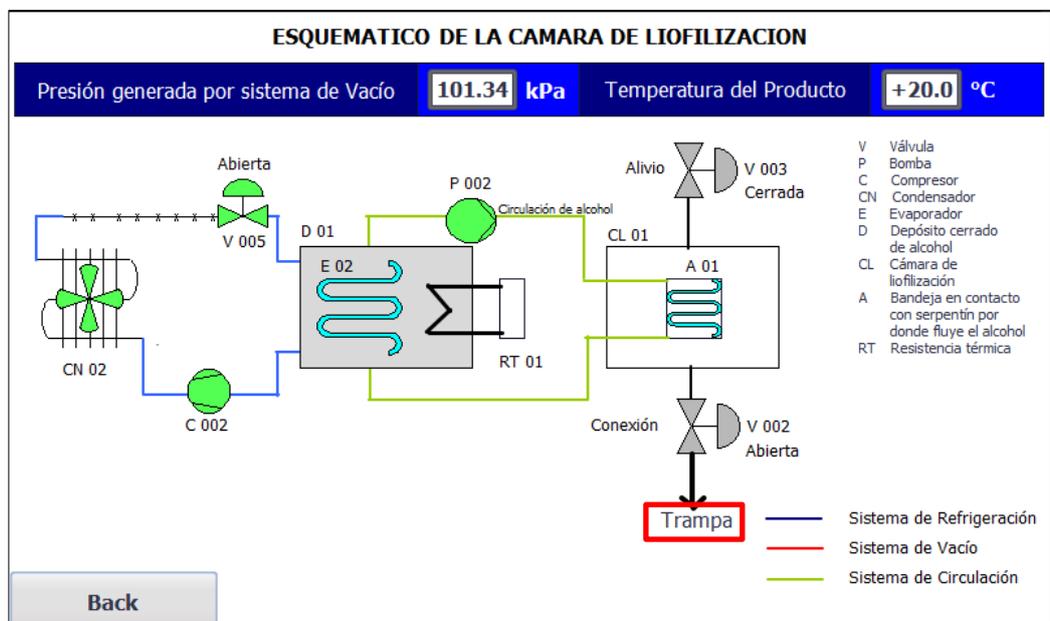


Figura 25: Pantalla de la cámara indicando el botón para acceder a la trampa.

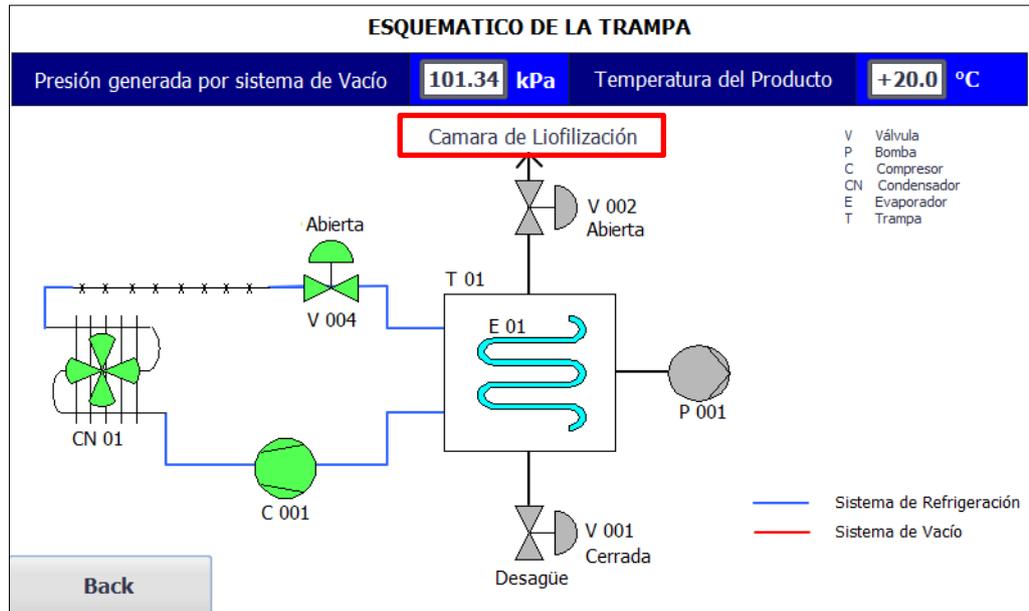


Figura 26: Pantalla de la trampa indicando el botón para acceder a la cámara.