



*Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática*

Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero en Automática.

*Tema: Proyecto de Automatización para el Pasteurizador
FLASH de la Fábrica de Cervezas Hatuey de Santiago de
Cuba.*

Autor:

Yoandri Naranjo López.

Tutor(es):

MSc. Miguel Fabars Zamora.

Ing. René Bernal Solano.

Ing. Gustavo Muñoz.

Curso: 2008-2009

Año del 50 Aniversario del triunfo de la Revolución.

"Nunca consideres el estudio como un deber, sino como una oportunidad para penetrar en el maravilloso mundo del saber..."

Albert Einstein

Dedicatoria.

Este trabajo es el resumen de muchos años de estudios, es el resumen del esfuerzo, sacrificio y entrega, no solo mío, sino de mis padres y mi hermana.

A ellos es con gran regocijo la dedicatoria de esta Tesis, y que vean en ella el fruto de lo que han sembrado.

Agradecimientos.

Agradezco a todas aquellas personas que han aportado su incondicional dedicación y entrega todos estos años, especialmente a:

- *Mis padres y mi hermana, por abrirme desde pequeño, el camino hacia el éxito mediante el estudio.*
- *Mis tutores, quienes han plasmado las huellas de su tiempo y conocimiento en este trabajo.*

Y a todos aquellos que han aportado un grano de arena en la culminación de este trabajo y de mi carrera.

RESUMEN.

En el presente trabajo se aborda el análisis de la situación actual y perspectivas de solución de la no operación del sistema de Pasteurización Flash en la Fábrica Hatuey, que provoca una limitada productividad del proceso; además se realiza un levantamiento de la situación operacional de las máquinas, y se tratan las tendencias actuales en el mundo y las posibilidades de transformar la concepción del esquema de control, se definen la estructura y gestión de variables del sistema de control y se demuestra la factibilidad de la solución propuesta. El resultado esencial del trabajo consiste en la presentación de una propuesta de automatización que consta de la estructura del algoritmo de control secuencial de los procesos que tienen lugar en el pasteurizador, los requerimientos de medios técnicos para su ejecución, las variables que deben ser observadas y procesadas, así como los elementos de acción final, se propone la respectiva instrumentación de campo y la compra del PLC, para llevar a cabo satisfactoriamente el control en el mismo con las mínimas inversiones posibles.

ABSTRACT.

In the present work we analyze the current situation and prospect of solution of non - operating system in Flash Pasteurization on the Hatuey Factory, which causes a limited productivity of the process; we realize a lifting of the operational situation of machinery, and we management the current trend in the world and the possibilities to transform the conception of control system, we define the structure and behavior control system variables, demonstrating the feasibilities of the proposed solution. The principal result in the present work consist in presentation a proposal for automatization, which it count with the algorithm of the sequential control of the process that have occur in the pasteurizer, the requirements of technical means for their execution, the variables that must be observed and processed, beside the final action elements, it also proposes the respective field instrumentations and the purchase of the PLC for the good control in the pasteurizer with minimal investment.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I: Descripción del objeto de trabajo y el trabajo con los PLC.....	6
1.1 Descripción del proceso tecnológico del salón de llenado de cuñetes.....	6
1.2 Descripción del flujo de producción del Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey.....	6
1.3 Importancia de la eficacia y segura operación para la pasteurización.	9
1.4 Regulación de Unidades de Pasteurización (UP).	9
1.5 Principios básicos para el tratamiento térmico de los alimentos. Clasificación de la pasteurización.	10
1.5.1 Fundamentos de la transmisión de calor.....	10
1.5.2 Tiempo de reducción decimal (D).....	10
1.5.3 Constante de resistencia térmica (Z).....	11
1.5.4 Tiempo de muerte térmica (F).	11
1.5.5 Clasificación de la pasteurización en relación al tiempo [14].....	12
1.6 Trabajo con autómatas. Generalidades y ventajas.	13
1.6.1 Ventajas del uso de los PLC.....	14
1.6.2 Capacidades de E/S en los PLC modulares.....	14
1.6.3 Componentes estructurales fundamentales de los PLC.....	15
1.6.4 Campos de aplicación.	15
1.6.5 Señales analógicas y digitales.....	16
1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	16
CAPÍTULO II: Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash.	17
2.1 Composición de los elementos que participarán en la pasteurización y el sistema general de control propuesto.	17
2.2 Descripción de las secuencias de eventos del Pasteurizador.....	20
2.3 Técnicas de control propuesta.	24
2.4 Posibles fallos y alarmas del Pasteurizador.....	25
2.5 Definición de las variables o señales de control a procesar.....	28
2.6 Soporte técnico a emplear.	31
2.7 Algoritmo de programación.....	31
2.8 Descripción de la instrumentación para usar en el Pasteurizador Flash.....	32
2.9 Análisis técnico económico y valoración medio ambiental.....	37
2.9.1 Análisis técnico económico.....	37
2.9.2 Valoración de la influencia del proyecto en el medio ambiente.	39
2.10 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	39
CONCLUSIONES GENERALES.	40
RECOMENDACIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	43

INTRODUCCIÓN GENERAL.

La automatización industrial no es un fenómeno reciente, desde que la actividad artesanal comenzó a ser sustituida por la industrial, las empresas han procurado la obtención del máximo rendimiento del trabajo mediante la acción combinada de herramientas, máquinas y organización. Los beneficios que este tipo de tecnología proporciona son innumerables, desde aumentos en los niveles de producción, hasta llegar a una mayor eficacia y precisión en la ejecución de las operaciones [8].

En la actualidad la tendencia a una sociedad moderna automatizada va en incremento, lo que significa ir perfeccionando en las industrias toda la automatización e instrumentación existente, con el objetivo de lograr mejores resultados productivos, mayor eficiencia y que esta se corresponda con la calidad requerida.

La fabricación de cerveza es un arte antiguo en el cual se prepara la cerveza a partir de la malta, el lúpulo, el agua y la levadura. Durante el proceso tienen lugar reacciones químicas complejas que acaban convirtiendo esas materias primas en cerveza. El vapor es esencial en este proceso para calentar, limpiar y pasteurizar.

Uno de los problemas fundamentales de la industria es la búsqueda constante de la eficiencia de los procesos que en ella tienen lugar. La industria de la fabricación de cerveza no escapa a esta problemática pues en ella se opera mundialmente en mercados altamente competitivos. La reputación y la calidad lo son todo. El precio es factor determinante en sectores claves del mercado. Importantes grupos de compradores demandan productos cada vez más innovadores. Las empresas operan en un contexto de extrema dinámica de las demandas de la clientela. Las fluctuaciones estacionales, el adecuado dimensionamiento de las plantas y la producción de cerveza de alto valor – estos son los retos a los que los cerveceros se enfrentan actualmente.

La planta de elaboración de cervezas y maltas es un área fundamental en la Fábrica de Cervezas “Hatuey” de Santiago de Cuba, ubicada en Avenida de Yarayó y que pertenece a la Unión de Cervecería de Cuba, del Ministerio de la Industria Alimenticia. En la misma se encuentra el Pasteurizador Flash que carece de total automatización en el proceso, por tanto no se obtiene una cerveza con más calidad debido a esto. El mismo fue usado para realizar la pasteurización a la cerveza y para la producción de malta, aumentando la producción de la fábrica, lográndose como consecuencia una cerveza más duradera y por tanto con más garantía para el cliente como consumidor, pudiendo insertarse en el mercado de exportación lo que reportaría mejoras substanciales para la empresa y aumentando su producción.

Resolver este problema tecnológico con la utilización y aplicación de conceptos modernos de la ingeniería de control constituye una tarea de elevada importancia práctica y tendría un gran impacto en la elevación de la productividad del trabajo.

Introducción General

La pasteurización relámpago o pasteurización flash, también conocida por la sigla HTST (High Temperature/Short Time) es un proceso térmico aplicado a ciertos alimentos con el objeto de reducir las poblaciones de bacterias. Se trata de uno de los métodos de pasteurización más habituales en el que se aplica una alta temperatura durante un corto período de tiempo.

Además con la pasteurización se trata de obtener un balance entre cuanto tiempo se extenderá la duración de la cerveza con el tiempo de pasteurizado, que logrará un cambio de sabor en la misma. El proceso de pasteurización deberá lograrlo bajo condiciones consistentes todo el tiempo.

Un pasteurizador tiene cuatro funciones [14]:

1. Lograr el proceso de pasteurización.
2. Lograr la temperatura de salida del producto.
3. Minimizar los costos de servicios y mantenimiento.
4. Ser consistente.

Desde el punto de vista económico, ni una instalación de envasado aséptico, ni un pasteurizador de túnel son equipos que se deban considerar para una cerveza normal. Debido a su fácil operación y a los bajos costes operativos, muchas cervecerías utilizan un pasteurizador flash en lugar del correspondiente equipo de filtración [13].

Los pasteurizadores flash normalmente son intercambiadores de placas con tres zonas: zona de regeneración, donde la cerveza entrante se encuentra en contracorriente con la ya pasteurizada que cede calor a la primera; zona de calentamiento con mantenimiento posterior de alta temperatura, se calienta hasta unos 72°C la cerveza con agua caliente o vapor. La cerveza se mantiene a esta temperatura durante unos treinta segundos en un tubo de mantención; y zona de enfriamiento que se realiza en dos fases: la primera a contracorriente con la cerveza que entra a través de la primera sección, y en la segunda, se puede enfriar hasta 0°C con agua glicolada.

Se ha procurado en la industria de la alimentación desde los comienzos del empleo del método HTST hacer que grandes cantidades del alimento queden expuestas a temperaturas "altas" durante un corto período de tiempo sin que el propio proceso rompa "en demasía" la cadena de procesamiento del alimento, es decir, que el alimento no pierda sus propiedades nutritivas y sensoriales. Es por esta razón por la que se emplean técnicas de "flujo continuo", en los que el alimento (generalmente líquido o con un aspecto de viscosidad apropiado) pasa a través de unos intercambiadores de calor, lo que permite una mayor automatización del proceso.

Para realizar las operaciones de calentar lo más rápido posible la muestra y luego enfriarlo igualmente rápido, es necesario tener en cuenta ciertas propiedades térmicas de los alimentos, tales como la conductividad, la capacidad calorífica y otras.

En el año 1876 Louis Pasteur publicó distintos trabajos acerca de sus investigaciones sobre la cerveza. Probó que la fermentación alcohólica está ligada a microorganismos

Introducción General

vivientes. Los ensayos que realizó demostraron que los microorganismos responsables de la fermentación y “putrefacción” de la cerveza, mueren a temperaturas elevadas. Sus descubrimientos constituyeron la base para la elaboración de cerveza con propiedades cualitativas predeterminables, pues hasta ese momento, el proceso normal era la fermentación espontánea. Estos conocimientos fueron la piedra fundamental para el cultivo de levaduras puras y para lograr una fermentación controlada. Las tasas de mortandad de gérmenes halladas en esa época, bien como las temperaturas determinadas en forma experimental, aún hoy constituyen el estado actual de conocimientos.

Este trabajo forma parte de un proyecto de modernización y automatización del Pasteurizador Flash, y para su estudio se obtuvo que:

1. No existe un controlador (en este caso un PLC).
2. No hay una instrumentación de campo (sensores, indicadores y actuadores) para el correcto funcionamiento de la máquina.
3. No hay un funcionamiento adecuado para la obtención de cerveza dispensada.
4. No existe un control centralizado del proceso.

Por lo anteriormente expuesto puede decirse que la investigación se propone resolver como:

Problema:

La carencia actual de automatización en el Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey de Santiago de Cuba.

Objeto:

El Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey de Santiago de Cuba.

Objetivo:

La elaboración de una propuesta de automatización para el Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey de Santiago de Cuba.

Campo de Acción:

La automatización del Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey de Santiago de Cuba.

Hipótesis:

Si se lograra la ejecución del proyecto de automatización propuesto para el Pasteurizador, se solucionaría la limitante que tiene hoy la Fábrica en la obtención y

comercialización de una cerveza de más calidad así como la producción de maltas en la provincia de Santiago de Cuba.

Tareas de la investigación:

1. Hacer un estudio pormenorizado del proceso a automatizar.
2. Interpretar el proceso a controlar.
3. Hacer el listado de todos los componentes que existen, añadiendo los que faltan. Buscar en Internet las características técnicas de cada componente, así como suministradores y precios. Determinar la secuencia de trabajo paso a paso.
4. Determinar las entradas al sistema, determinar las salidas, temporizadores, contadores, registros de desplazamiento necesarios.
5. Elegir el autómeta, ver en las entidades nacionales cuales ofertan que puedan ser utilizados para el proyecto.
6. Hacer las asignaciones de E/S, relés, temporizadores, contadores, etc.
7. Hacer la distribución de componentes del automatismo.
8. Esquema de conexiones de E/S al autómeta.

Métodos y técnicas empleados en la investigación:

1. Análisis de fuentes documentales y datos estadísticos.
2. Encuesta y entrevistas.
3. Análisis de las valoraciones de expertos.

La significación práctica de la investigación radica en que el logro del objetivo propuesto en este trabajo permitirá resolver las deficiencias productivas que actualmente limitan la productividad actual desde nuevas concepciones del control industrial.

El aporte práctico de esta tesis radica en la proposición de un esquema de control, así como la proposición y configuración de un PLC, que solucione la ineficiencia del proceso productivo de pasteurización en la Fábrica Hatuey.

Estructura de la Tesis.

Este trabajo de tesis consta de una introducción, dos capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos. En cada uno de los capítulos se darán solución a las tareas científicas planteadas, cumpliéndose de esta manera los objetivos de la investigación. De este modo, el desarrollo de la tesis queda estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1: En este capítulo se presenta un estudio del estado del arte sobre el tema, así como las características y fundamentos teóricos del objeto de estudio, quedando establecido el marco teórico que sustenta la investigación. Además se elabora una caracterización del proceso de producción de pasteurización para cerveza dispensada de la Fábrica de Cerveza Hatuey.

Capítulo 2: Se centra en la constatación del problema científico, los requerimientos técnicos que se deben cumplir para su buen funcionamiento, así como sus posibles

Introducción General

fallos o averías. Se definen las variables de entrada y salida a tratar para obtener los algoritmos de programación del pasteurizador, así, en el mismo finalmente se realiza la valoración económica y medio ambiental del trabajo realizado.

CAPÍTULO I: Descripción del objeto de trabajo y el trabajo con los PLC.

Introducción.

En este capítulo se brinda una descripción del proceso de pasteurización de la cerveza pasteurizada, además de las diferentes etapas por las cuales debe pasar la misma hasta llegar a su estado final para la posterior algoritmización, los principios básicos que rigen el proceso para determinar el tiempo de pasteurización debido al tratamiento térmico de los alimentos (en este caso la cerveza o malta) según la cantidad de microorganismos que estén presentes y una panorámica de los Controladores Lógicos Programables (PLC).

1.1 Descripción del proceso tecnológico del salón de llenado de cuñetes.

Después de terminado el proceso de fabricación de la cerveza, esta pasa a los lugares donde se va a envasar, que pueden ser:

- Salón de embotellado.
- Salón de llenado de cuñetes.

En el salón de cuñetes, primeramente, se toman los tanques vacíos y son llevados a las máquinas lavadoras y envasadoras, donde se vacían o expulsan de estos cualquier líquido remanente, una vez que estén vacíos se someten a un proceso de lavado, este proceso se realiza mediante enjuagues con agua, lavado con solución de sosa cáustica y finalmente se les suministra vapor para la completa esterilización de los mismos. Una vez que estén limpios los tanques, se encuentran listos para ser envasados de cerveza y finalmente se obtiene el producto terminado. Actualmente, durante estos procesos es necesaria la intervención de los operadores para la realización manual de algunos pasos del funcionamiento de las máquinas, por lo que los procesos de lavado, esterilización y llenado de los barriles de cerveza, no se realizan completamente de forma automática.

1.2 Descripción del flujo de producción del Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey.

Para el proceso de pasteurización en la Fábrica de Cervezas Hatuey de Santiago de Cuba la cerveza o malta debe transitar por varias etapas para la obtención de un producto final con la calidad requerida dentro del dispositivo de pasteurización:

- Llegada al Pasteurizador Flash.
- Intercambiadores de calor.
- Sistema de temperatura de salida.
- Sistema de inyección superior de CO_2 .
- Sistema de tanque de almacenamiento.
- Sistema de tanque CIP (Cleaning in Place).

Capítulo I. Descripción del objeto de trabajo y el trabajo con los PLC

Ver en el Anexo 1 la figura 1.1 que representa el diagrama de flujo del sistema y el diagrama de referencia del equipamiento para el proceso de pasteurización.

El pasteurizador presentaba 3 modos de operación:

- Modo de inicio: la función de este modo es llevar todas las variables del proceso al inicio del estado de operación usando agua. Este proceso consiste en hacer circular el agua por el Pasteurizador sin llegar al tanque de almacenamiento, para lograr con esto los valores de referencia de la temperatura y el flujo que debe circular por el mismo, pues la esencia del mismo, es calentar y enfriar la cerveza rápidamente. Una vez que el sistema está en equilibrio el modo de operación puede ser cambiado al modo de "Corrida".
- Modo de corrida: cuando se opera en este modo, la cerveza debe pasar a través de la temperatura y presión de pasteurizado por un periodo de tiempo y luego enfriarse a una temperatura que permita el almacenaje en el tanque de almacenamiento.
- Modo CIP: los tubos del proceso y el tanque de almacenamiento son limpiados usando una secuencia de lavados.

En el modo de Inicio el operador debe realizar varios pasos para su funcionamiento:

1. Llenar el tanque de agua caliente usando la válvula manual de mariposa localizada en la parte superior del tanque. El tanque está lleno una vez que se observe agua saliendo del tanque por el tubo de rebose.
2. Comprobar que los servicios siguientes estén disponibles:
 - Agua.
 - Vapor.
 - Glicol.
 - CO_2 .
 - Aire.
3. Chequear que todos los interruptores de las bombas en el panel de control están en el modo "Auto".
4. Chequear que no exista ningún mensaje de alarma. Si existe un mensaje de alarma tomar las medidas pertinentes y elimine la condición que la originó.
5. Cambiar el modo de selección al modo de "Inicio".
6. Las siguientes condiciones deben satisfacerse antes de cambiar el pasteurizador al modo de "Corrida".
 - El flujo debe estar entre 36.4L/min y 40.5L/min.
 - La presión en los tubos de mantención debe tener como mínimo 110PSI
 - La temperatura en los tubos de mantención debe estar entre 70°C y 73°C.
 - La temperatura de descarga debe estar entre 0.5°C y +15°C.

Capítulo I. Descripción del objeto de trabajo y el trabajo con los PLC

7. Una vez que el sistema encuentra que las condiciones de arriba se cumplen por 6 minutos el operador puede cambiar al modo de "Corrida".

Ver en el Anexo 1 la figura 1.2, que es la representación de la compuerta del control del panel del PLC para realizar algunas de las distintas operaciones descritas anteriormente.

Durante el modo de "Inicio" el tanque de almacenamiento debe ser purgado de aire y presurizarlo con CO_2 , siguiendo los pasos a continuación:

- Asegurarse que la compuerta en el tanque de almacenamiento está debidamente cerrada.
- Encender PRV-121 que proveerá CO_2 al tanque de almacenamiento. El CO_2 fluirá dentro del tanque de almacenamiento y desplazará el aire en el tanque. El aire deberá ser purgado del tanque por vía de PCV-122. Este paso debe ser llevado a cabo de 10 a 20 minutos.
- Una vez que el tanque ha purgado el aire, PRV-102 debe ser encendida. Esta válvula reguladora de CO_2 debe estar entre 15PSI y un máximo de 20PSI y es la encargada de controlar la referencia de la presión del tanque de almacenamiento.
- La válvula PRV-121 debe tener 2PSI por debajo del punto de ajuste de presión de PRV-102.
- Durante el proceso de producción es normal escuchar al tanque de almacenamiento ventilando a través de la válvula PCV-122. Esto es provocado por el aumento de cerveza en el tanque de almacenamiento y el consecuente desplazamiento de CO_2 .

Antes de comenzar con el modo de Corrida se debe traer todas las variables del proceso deben estar en los valores de referencia prefijados con anterioridad.

Una vez que todas las referencias se han alcanzado, se debe cambiar al modo de "Corrida". El pasteurizador solo debe ser cambiado a modo de "Corrida" después de pasar a través de los pasos mencionados en el modo "Inicio".

En este modo el operador debe permitir el paso de CO_2 a inyectarse dentro de la cerveza y la velocidad de inyección debe ser controlada.

Cuando el operador haya concluido de pasteurizar la cerveza, debe cambiarse el modo "Selección" a la posición "Off". En este momento puede haber un remanente de cerveza en el tanque de almacenamiento. Este remanente de cerveza debe ser drenado del tanque.

Una vez que el tanque de almacenamiento esté vacío el regulador de CO_2 deberá apagarse. El tanque de almacenamiento entonces debe despresurizarse y es importante que la despresurización se realice lentamente para prevenir daños en la instrumentación.

Una vez que el tanque de almacenamiento ha sido despresurizado el operador debe correr la rutina de CIP. Antes de comenzar el modo CIP, asegurarse que la estación de trasiego (Bulldog) está configurada para el CIP y que el modo CIP está seleccionado en la estación de trasiego.

En este modo se hace una limpieza a todo el pasteurizador y de los tanques.

1.3 Importancia de la eficacia y segura operación para la pasteurización.

Actualmente no se realiza la pasteurización por el deterioro tecnológico que presenta este sistema, por lo tanto, si se lograra la implementación de un control para el proceso de pasteurización, se agilizaría el proceso de envasado de la cerveza en los tanques o cuñetes, además de producirse con una mayor efectividad. El correcto funcionamiento de cada uno de los componentes, así como la programación del autómatas que controla el proceso, reduciría las pérdidas y garantizaría la eficiencia de la producción, además, es de gran importancia por su influencia en el proceso tecnológico de la fábrica en el acabado de cerveza de cuñete y la producción de maltas.

1.4 Regulación de Unidades de Pasteurización (UP).

La regulación de UP [13], es en realidad una regulación de temperatura, para la cual se determina el tratamiento térmico en forma previa y luego se calculan las temperaturas correspondientes. Para el cálculo de las UP generalmente se considera sólo la zona de mantenimiento a alta temperatura, pues el efecto germicida, según Louis Pasteur, comienza a los 60°C. No obstante, esa temperatura ya se alcanza en la zona de calentamiento durante un breve período.

Fórmula para el cálculo de las unidades de pasteurización:

$$UP = tiempo * 1.393^{(t-60)} \quad 1.1$$

Sin embargo, como normalmente las unidades de pasteurización (UP) se establecen previamente, para calcular la temperatura correspondiente a una cierta carga térmica y a un determinado tiempo de proceso, la fórmula debe modificarse:

$$\frac{\log \frac{P}{tiempo}}{\log 1.393} + 60 = \text{Tiempo de pasteurización} \quad 1.2$$

La diferencia de temperatura promedio en un intercambiador de calor en contracorriente, no se calcula en forma aritmética. Se debe determinar la diferencia de temperatura logarítmica, según la fórmula siguiente:

$$\frac{\Delta T_{\text{grande}} - \Delta T_{\text{pequeño}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{grande}}}{\Delta T_{\text{pequeño}}}} = \Delta T_{\text{mediano}} \quad 1.3$$

1.5 Principios básicos para el tratamiento térmico de los alimentos. Clasificación de la pasteurización.

Entre las operaciones de conservación, el tratamiento térmico es un procedimiento físico empleado para aumentar la vida útil de los alimentos debido a la acción letal del calor sobre los microorganismos (desnaturalización térmica de sus proteínas, que inhibe la actividad metabólica general, dependiente de reacciones enzimáticas).

1.5.1 Fundamentos de la transmisión de calor.

El calor se transmite desde una materia caliente a otra más fría en un proceso dinámico. Su velocidad de transmisión depende de la diferencia de temperaturas existentes entre ellas y es mayor cuanto más grande sea ésta.

El calor pasa de una sustancia a otra atravesando un medio, que ofrece cierta resistencia al flujo de calor [1].

$$\text{Velocidad de transmisión de calor} = \frac{\text{Diferencias de temperaturas}}{\text{Resistencias del medio al flujo de calor}} \quad 1.4$$

Para caracterizar la resistencia de un microorganismo (o de cualquier sustancia sensible) frente al calor se emplean dos valores: D y Z; para caracterizar la intensidad de un tratamiento térmico se usa el valor F [9].

1.5.2 Tiempo de reducción decimal (D).

Tiempo necesario a una temperatura determinada para destruir el 90% de los microorganismos presentes.

$$D = t / (\log N_0 - \log N_t) \quad 1.5$$

Para $N_0 = 10N_t$, $t = D$

t = tiempo de calentamiento (minutos).

N_0 = número de microorganismos originalmente presentes.

N_t = número de microorganismos tras el tratamiento térmico.

La misma no admite una disminución del número de organismos a cero, porque si N_t es cero, t debería ser infinito. Para resolver este problema supongamos que $N_t = 0.1$ y calculemos el valor correspondiente de t . No podemos decir que después de ese tiempo sobrevivirá una décima parte de un microorganismo, pero se puede afirmar que habrá sólo una probabilidad de 1 en 10 de que sobreviva un microorganismo.

La figura 1.3 muestra una curva típica de esterilización. La curva AB representa la etapa de calentamiento, la parte BC corresponde a la etapa de mantenimiento y CD es la etapa de enfriamiento. Durante la primera y última etapas ocurre parte de la destrucción térmica de organismos presentes en el medio, debido a que se alcanza una temperatura elevada, sobre todo, en la última parte de la curva AB y la primera parte de la curva CD [9].

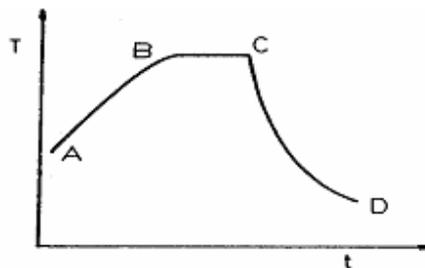


Figura 1.3 Variación de la temperatura en función del tiempo en un proceso de esterilización.

1.5.3 Constante de resistencia térmica (Z).

Número de grados centígrados que es necesario aumentar la temperatura para que el valor D disminuya a la décima parte de su valor.

$$Z = (T_2 - T_1) / \log D_1 - \log D \quad 1.6$$

Para $D_1 = 10D_2$, $Z = T_2 - T_1$

Z = número de grados (°C).

T_1 y T_2 = temperaturas de tratamiento (°C).

D_1 y D_2 = valores D a las temperaturas anteriores.

1.5.4 Tiempo de muerte térmica (F).

Se define como el tiempo necesario, a una temperatura definida, para reducir la población microbiana presente en un alimento hasta un nivel deseado.

$$F = nD \quad \left| \begin{array}{l} N_0 = 10N_t \Rightarrow F = D \\ N_0 = 10^2 N_t \Rightarrow F = 2D \\ N_0 = 10^6 N_t \Rightarrow F = 6D \end{array} \right. \quad F = D(\log N_0 - \log N_t) \quad \mathbf{1.7}$$

Cada microorganismo presente en el alimento tiene su propio valor F y el valor F que habrá que aplicar será el más elevado de ellos.

En los tratamientos térmicos se intenta conjugar la consecución de la esterilidad comercial con el mínimo deterioro posible de las propiedades nutritivas y sensoriales del alimento.

Este deterioro depende de:

- Tiempo del proceso.
- Temperatura del proceso.
- Composición y propiedades del alimento.

La pasteurización pretende la higienización de un producto destruyendo los microorganismos patógenos y al mismo tiempo disminuir el nivel de aquellos organismos que más pueden deteriorar el alimento y así puede ser consumido en un corto plazo.

1.5.5 Clasificación de la pasteurización en relación al tiempo [14].

- Baja: 62 – 68°C.

Duración: 30 minutos. Proceso discontinuo en volúmenes pequeños y envasados. Se realiza en tanques de doble pared con agitación.

- Alta o HTST (High temperature/ Short time): 72 – 90°C.

Duración: 15 - 30 segundos. Sistemas de flujo continuo con intercambiadores de calor.

- Relámpago (“Flash”): 88 – 97°C.

Duración: 1 - 12 segundos.

Llegado a este punto, se puede realizar una representación general de cómo sería el proceso de pasteurización continuo con intercambiadores de calor, el cual se muestra en la figura 1.4.

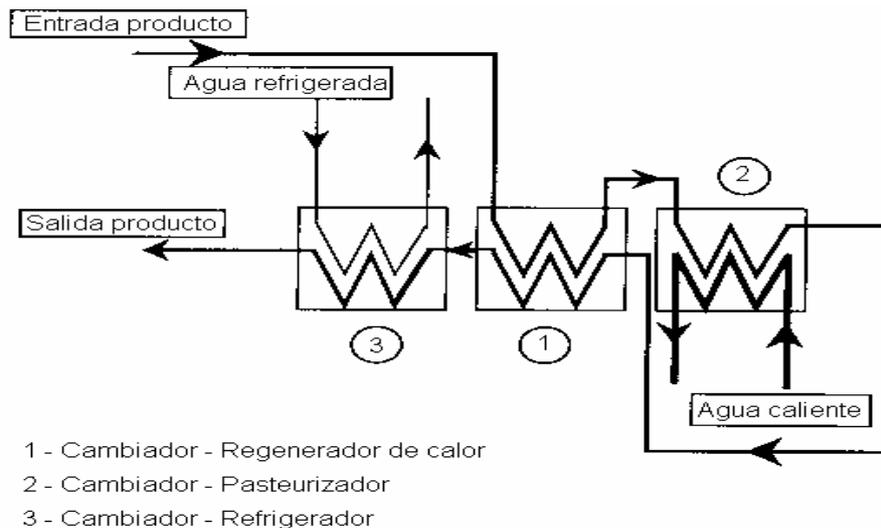


Figura 1.4 Diagrama de flujo de un pasteurizador continuo con cambiadores de calor.

1.6 Trabajo con autómatas. Generalidades y ventajas.

Un **autómata programable** es un dispositivo de automatización industrial que dispone de n entradas y m salidas digitales y/o analógicas que lo comunican con el proceso a controlar u otros dispositivos, donde la relación funcional entre las entradas y salidas se establece a través de un programa. Puede considerarse como una microcomputadora de propósito específico que además está diseñada para controlar en tiempo real y en un medio industrial procesos secuenciales.

Las facilidades de modularidad y programación permiten crear estructuras redundantes y sistemas de alta fiabilidad con relativa sencillez. Se puede programar con obligatoriedad los mantenimientos periódicos de la instalación (el PLC prácticamente no los necesita). Además poseen una elevada capacidad de procesamiento en un volumen mínimo, a gran velocidad y con un costo mínimo, así como robustez frente a solicitudes mecánicas y ambientales severas.

En países industrializados se trata de normalizar los lenguajes de PLC, pero manteniendo su raíz estructurada. Por otro lado la IEC-1131, que normaliza el mercado internacional desde 1993, incluye sólo lenguajes estructurados a pesar de los cambios evolutivos que frecuentemente asume dígame por ejemplo la inclusión de la lógica borrosa en los PLC.

El trabajo del PLC se realiza en forma cíclica y las operaciones que se ejecutan en cada uno de estos ciclos es como se muestra en la figura 1.5 [7].

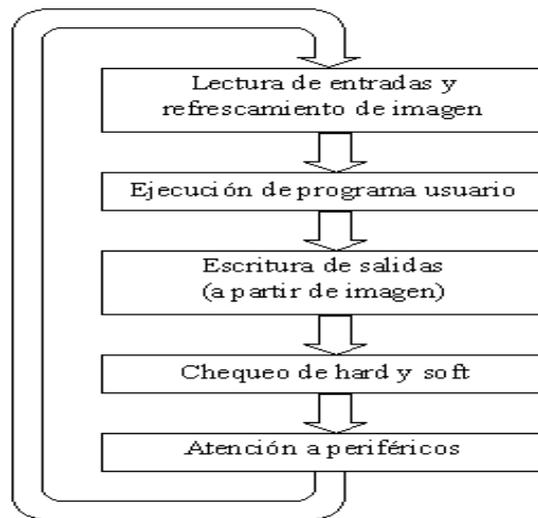


Figura 1.5 Ciclo de trabajo de un PLC.

1.6.1 Ventajas del uso de los PLC.

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones nos obligan a referirnos a las ventajas e inconvenientes que proporciona un autómata de tipo medio estandarizado.

- Diseñados y contruidos para su aplicación en ambiente industrial.
- Son equipos flexibles, por su carácter programable.
- Son fáciles de instalar y reutilizables.
- Gran capacidad de procesamiento de información.
- Mayor número de entradas y salidas.
- Las operaciones son controladas por software, debiendo tener conocimientos de programación para poder variarla.
- Puede conectarse a una computadora, permitiendo tener interfases gráficas de usuarios, con animaciones del proceso en tiempo real.
- Concentración de los lazos.
- Permite configurar los lazos.
- Tecnología moderna.
- Elevado por ciento de confiabilidad.

1.6.2 Capacidades de E/S en los PLC modulares.

Los PLC modulares tienen un limitado número de conexiones para las entradas y las salidas. Normalmente, hay disponibles ampliaciones si el modelo base no tiene suficientes puertos E/S.

Los PLC con forma de rack tienen módulos con procesadores y con módulos de E/S separados y opcionales, que pueden llegar a ocupar varios racks. A menudo hay varias entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Algunos de los PLC actuales pueden comunicarse mediante un amplio tipo de comunicaciones incluidas RS-485, coaxial, e incluso Ethernet.

Los PLC usados en grandes sistemas de E/S tienen comunicaciones entre los procesadores. Esto permite separar partes de un proceso complejo para tener controles individuales mientras se permita a los subsistemas comunicarse mediante links. Estos links son usados a menudo por dispositivos de Interfaz de usuario (HMI) como teclados o estaciones de trabajo basados en ordenadores personales.

1.6.3 Componentes estructurales fundamentales de los PLC.

El controlador lógico programable es el elemento fundamental del sistema de automatización y ocupa distintos niveles jerárquicos dentro de la red en dependencia de los módulos que lo componen y las facilidades que permiten éstos. Los módulos fundamentales son:

1. Fuente de alimentación: Genera todos los voltajes y corrientes utilizados por el PLC.
2. Módulo procesador central: Módulo central de gobierno del PLC, que incluye entre sus circuitos básicos:
 - CPU: microprocesador que controla el sistema y sus circuitos estándares.
 - Memorias: sistemas de media o alta integración que almacenan el software central del PLC.
 - Comunicación con periféricos o red: sistema serie que permite la comunicación del equipo con distintos periféricos.
 - Comunicación del bus interno del PLC.
3. Módulos de entradas y salidas digitales.
4. Módulos de entradas y salidas analógicas.
5. Módulos inteligentes.
 - Módulos de procesamiento de señales.
 - Módulos reguladores.
 - Procesadores de comunicación.

1.6.4 Campos de aplicación.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización; por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, entre otros.

Capítulo I. Descripción del objeto de trabajo y el trabajo con los PLC

Su eficacia hace que se aprecie su uso fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales. Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

1.6.5 Señales analógicas y digitales.

Las señales digitales o discretas como los interruptores, son simplemente una señal de On/Off (1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente). Los botones e interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta, estas son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango específico corresponderá al On y otro rango al Off.

Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos.

1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

En el capítulo se llevó a cabo un estudio sobre los antecedentes del Pasteurizador Flash y el estado de la temática. A partir de este estudio y de la definición de los PLC, sus campos de aplicación, ventajas de los mismos y partiendo de la caracterización del proceso productivo en la Fábrica de Cervezas Hatuey, se demuestra la factibilidad del empleo de los PLC en la automatización de este proceso industrial.

El capítulo aporta una panorámica, tanto del proceso productivo a automatizar, algunos de los principios a tener en cuenta para el tratado térmico de los alimentos y algunas de las particularidades del control por PLC que abarca diferentes de sus características.

CAPÍTULO II: Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash.

Introducción.

En este capítulo se realizará una descripción de cada uno de los elementos que intervienen en el control del Pasteurizador Flash en función de elaborar una propuesta para el control del mismo, pues para la selección del soporte técnico a utilizar se hace necesario la valoración de diferentes variantes, de esta depende la selección adecuada que permitirá lograr una mayor eficiencia en el proceso productivo. En la actualidad, estas máquinas se encuentran completamente deterioradas, sin embargo, el principal problema radica en la automatización del proceso, pues no existe un controlador (PLC), ni la instrumentación de campo adecuada, por tanto, no existe un control en el sistema de pasteurización, lo cual incide en la ineficiencia del proceso de producción de cerveza, que se traduce en pérdidas para la fábrica.

2.1 Composición de los elementos que participarán en la pasteurización y el sistema general de control propuesto.

De forma general estarán constituidas por 18 válvulas neumáticamente controladas que son las encargadas de suministrar el agua, aire, alcohol, vapor, solución de sosa cáustica, CO_2 y cerveza durante los diferentes procesos de esterilización, lavado y luego pasar a la estación de llenado, constará también de vías de drenaje o evacuación de los remanentes durante estos procesos, que se pueden realizar manualmente.

Además de la presencia de 5 sensores detectores de líquido con los que se deben controlar en cada momento la presencia de líquido en los tanques durante los procesos de esterilización y lavado, así como el nivel de cerveza en el tanque de almacenamiento que se usará durante el proceso de llenado de los toneles en la estación Bulldog. Estos sensores tendrán un circuito electrónico que cuando la sonda sense líquido activan un contacto que será enviado al módulo digital respectivo en el PLC (ver en el Anexo 1 la figura 2.1 la configuración de las sondas de nivel).

Se proponen 2 Pt100, mediante una se controlará la temperatura de vapor suministrado para el proceso de elevar la temperatura de la cerveza en los intercambiadores de calor utilizando el tanque de recirculación de agua caliente, y mediante la otra se controlará la temperatura de descarga en las tuberías de la cerveza para así suministrar más o menos entrada de alcohol para lograr enfriar la misma, hasta los valores deseados prefijado con antelación en el controlador.

Para el proceso también se propone un flujómetro que indicará en todo momento cual es el estado del flujo (velocidad) de cerveza en las tuberías. El sistema constará también de sensores y reguladores de presión para el control de la alimentación de CO_2 , para la presurización de la cerveza y la presión que debe existir en las tuberías de mantención, así como de indicadores para la respectiva visualización de cada variable.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

La visualización de los estados del proceso se puede observar mediante un display, en este caso se propone un panel XGT, su vista general se muestra en la figura 2.2; desde el mismo se pueden observar los diferentes valores de referencia que se desean para los distintos sensores, los valores de temporización que serán usados en cada rutina al igual que el tiempo de cada alarmas, saber en que modo se encuentra el proceso, así como mostrar mensajes de alarmas, entre otras aspectos relacionando el panel con el proceso; este es compatible con el PLC propuesto usando un cable de comunicación serie RS-232/485.

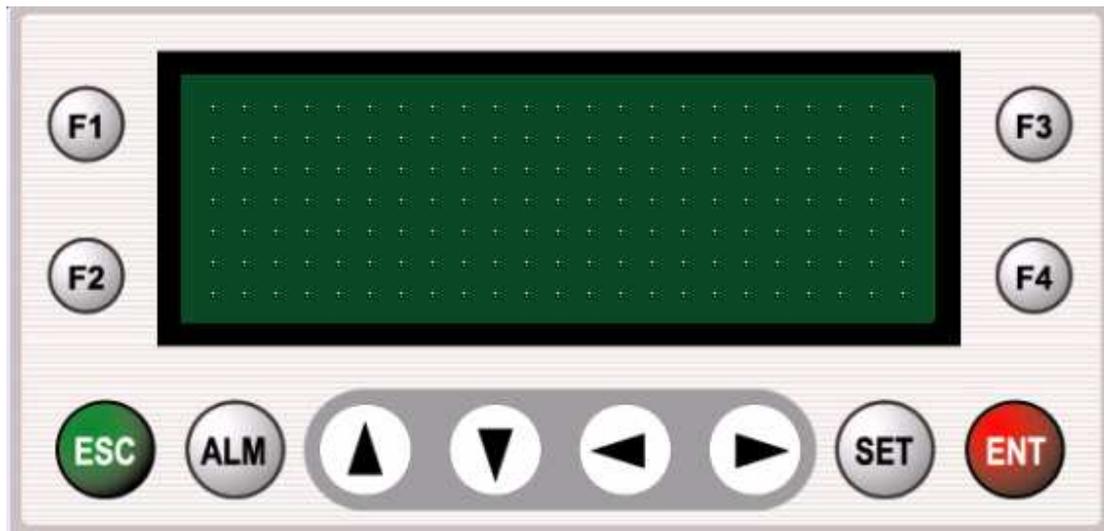


Figura 2.2 Panel XGT para PLC de LG.

En la figura 2.3 se puede observar como se produce un complemento entre las tecnologías usadas para realizar el adecuado control en el presente trabajo, que poco a poco irá situando a cada una de ellas en el papel que le corresponde.

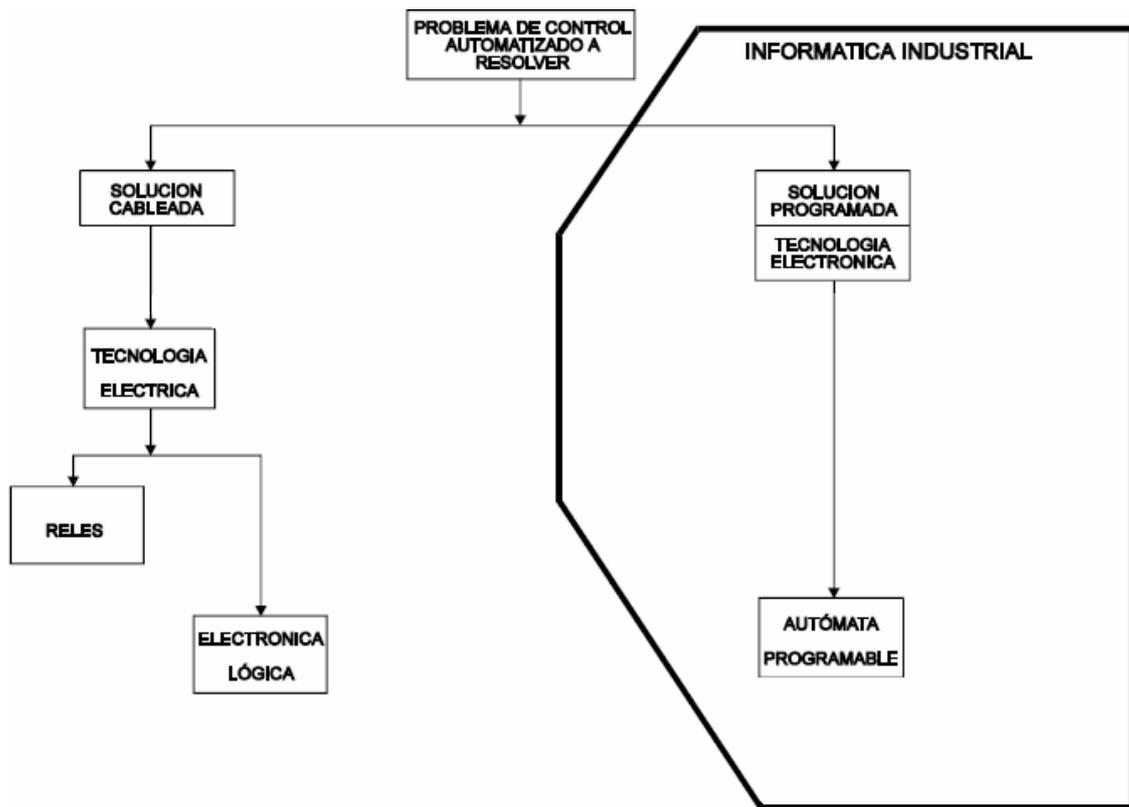


Figura 2.3 Soluciones tecnológicas aplicadas al sistema de control.

Todos estos elementos que participan en el control del proceso de pasteurización se relacionarán entre sí como se observa en la figura 2.4, mostrada a continuación, que conforman el funcionamiento de estas máquinas y garantizan que con el adecuado control de las mismas el proceso de producción de cerveza dispensada sea eficiente, por último señalar que el sistema es abierto y escalable, dando la posibilidad de poder integrar nuevos elementos en su control, así como la posible inclusión de un ordenador para la futura realización de un supervisorio, que mostrará todos los elementos del sistema automatizado, dando la posibilidad de supervisar y registrar las diferentes variables del proceso, tendencias, entre otros elementos, conectando un ordenador al PLC mediante un conversor de norma RS-232/485.

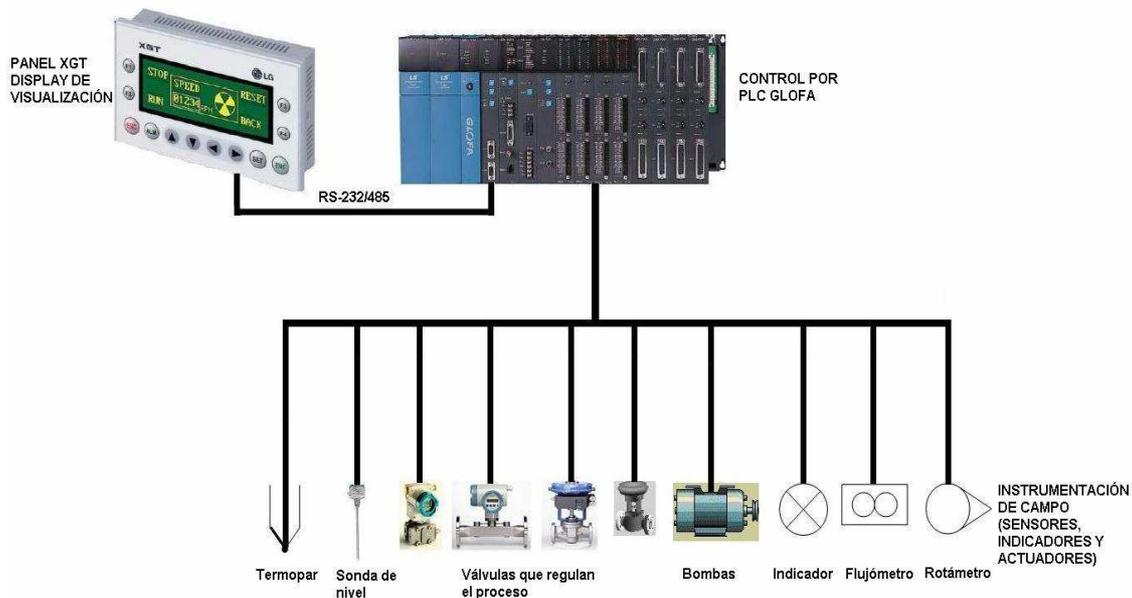


Figura 2.4 Esquema general del sistema de control.

2.2 Descripción de las secuencias de eventos del Pasteurizador.

Para una mejor comprensión del proceso de pasteurización de la cerveza, se dará las secuencias de eventos que debe realizar. El pasteurizador presenta tres modos de operación, modo de Inicio, modo de Corrida y modo de CIP (Ver en el Anexo 1 la figura 1.1 que muestra la distribución del automatismo del sistema).

Para lograr que en el modo de Inicio se obtengan los parámetros de referencia para el pasteurizado de la cerveza se deben realizar las siguientes secuencias de eventos:

1. Con la válvula CV-2 se debe llenar el tanque de CIP con agua hasta que la sonda de alto nivel LSH-131 detecte agua.
2. Abrir CV-7 para que permita que hasta la bomba #1 fluya el agua. Después de transcurrido un tiempo de retardo preajustado para el arranque de la bomba #1 esta se enciende, y la válvula CV-4 abre por un tiempo previamente ajustado para drenar el líquido remanente en la tubería. Luego CV-4 cierra y CV-3 se abre, con lo que comienza la recirculación de agua a través del pasteurizador.

Después de que la bomba #1 inicia, hay un máximo de 10 segundos de retraso antes de comprobar las alarmas de flujo mínimo y máximo. Si existe una alarma, el sistema se apagará.

3. Se abre la válvula CV-17, alimentando vapor al tanque de agua caliente. La bomba #2 se enciende, para hacer circular agua caliente a través de los intercambiadores.
4. Una vez que el agua en los tubos de mantención alcancen el punto de referencia, comienza la sección de enfriamiento del intercambiador de calor. La válvula CV-10

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

se abre alimentando alcohol a la válvula de control (TCV #113). TCV #113 controla la descarga de temperatura de la cerveza.

5. Luego que el flujo, la temperatura en la tubería de mantención y la temperatura de descarga hayan alcanzado sus valores de referencia, el interruptor de presión se chequea para asegurarse que está por encima del valor mínimo de referencia.

Si la presión es muy baja, el sistema se apagará.

Una vez que todas las referencias se han alcanzado, el operador puede cambiar del modo de "Inicio" a modo de "Corrida".

El pasteurizador solo debe ser cambiado a modo de "Corrida" después de pasar a través de los pasos en el modo "Inicio".

En este modo el operador debe seguir los pasos siguientes:

1. Una vez que el pasteurizador ha sido cambiado al modo "Corrida" la válvula CV-19 se abrirá permitiendo que el CO_2 sea inyectado dentro de la cerveza. Asegurarse que la válvula manual CV-9 esté abierta.
2. La velocidad de inyección de CO_2 es monitoreada por un rotámetro situado al lado del panel. El flujo de CO_2 puede ser ajustado por la válvula de aguja situada encima del rotámetro.

Secuencia de eventos:

- 1) La bomba #1 y #2 están encendidas. Las válvulas CV-8, CV-9, CV-10 y CV-17 están abiertas. La válvula CV-4 está abierta por un cierto periodo de tiempo prefijado para impulsar agua y drenar las tuberías.
- 2) Después de transcurrido el tiempo la válvula CV-4 cerrará y CV-14 se abrirá.
- 3) Cuando la sonda de nivel medio LSM #134 ha detectado líquido significa que ha entrado suficiente cerveza al tanque de almacenamiento, entonces la válvula CV-12 se abre y se debe encender la bomba #3 dos segundos después.
- 4) El pasteurizador está en pleno funcionamiento, permitiendo al operador llenar los tanques en la estación de trasiego.
- 5) Una vez que la sonda de alto nivel LSH-119 detecta líquido pasa a modo de alarma en Corrida hasta que la sonda de nivel medio LSM-134 no detecte líquido, reseteando la alarma con la condición de la sonda de nivel medio.

Si existe alguna situación de alarma durante el modo de "Corrida" debe ocurrir lo siguiente:

- 1) Las válvulas CV-8 y CV-14 cerrarán y CV-7 abrirá. La válvula CV-4 abrirá por un periodo de tiempo prefijado a fin de drenar la cerveza remanente.
- 2) Después de transcurrido el tiempo la válvula CV-4 cierra y CV-3 se abre. El agua del tanque CIP ahora circula a través del pasteurizador.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

- 3) Cuando ocurre una alarma, el faro montado en el panel de control del PLC flashearé y la lámpara indicando "Alarma del pasteurizador" se iluminará en el panel de control.
- 4) El operador debe identificar que tipo de alarma que ha ocurrido y debe determinar si la condición de alarma ha sido eliminada.
- 5) Una vez que se ha eliminado la alarma, las válvulas CV-7 y CV-3 cierran, y CV-8 abre. CV-4 se abrirá por el periodo de tiempo prefijado para impulsar agua en el sistema para su drenaje.
- 6) Después de transcurrido el tiempo CV-4 cierra y CV-14 abre. El pasteurizador está nuevamente en el modo de "Corrida".

Cuando el operador haya concluido de pasteurizar la cerveza, debe cambiarse el modo "Selección" a la posición "Off". En este momento puede haber un remanente de cerveza en el tanque de almacenamiento. Este remanente de cerveza puede ser drenado del tanque cambiando la bomba #3 a modo "Manual". Esto causará que la bomba #3 se encienda y CV-12 se abra.

Una vez que el tanque de almacenamiento esté vacío de cerveza la bomba #3 se cambiará a la posición de "Off". El regulador de CO_2 PRV-121 deberá apagarse. El tanque de almacenamiento entonces debe despresurizarse cerrando gradualmente PRV-102, es importante que la despresurización se efectúe lentamente para prevenir daños en PCV-122.

Una vez que el tanque de almacenamiento ha sido despresurizado el operador debe correr la rutina de CIP.

El modo CIP está dividido en 3 secuencias [6]:

- a) Primer lavado con agua
- b) Lavado con sosa cáustica
- c) Lavado final con agua

Antes de comenzar el modo CIP, asegurarse que la estación de trasiego (Bulldog) está configurada para el CIP y que el modo CIP está seleccionado en la estación de trasiego.

La secuencia de eventos para lograrlo es la siguiente:

A) Primer lavado con agua:

- 1) Chequear que el tanque de almacenamiento está vacío. Si el tanque no se ve vacío entonces CV-22 se abrirá para drenar el tanque. Una vez que la sonda de bajo nivel en el tanque confirma que está vacío CV-22 permanecerá por un periodo de tiempo prefijado para asegurarse que el tanque se vacíe completamente. El tanque CIP también se chequea que esté vacío. Si no está vacío entonces se abre la válvula CV-6 para drenarlo.

- 2) Una vez que el tanque CIP está vacío CV-6 cierra y CV-2 se abre para llenar el tanque con agua. La válvula CV-2 cerrará una vez que LSH-131 detecte agua.
- 3) Luego de que el tanque CIP está lleno y el tanque de almacenamiento está vacío, entonces CV-7, CV-11 y CV-4 se abren. CV-9 se abrirá al 100% durante el modo CIP. La bomba #1 cambiará a encendido luego de un corto tiempo. El agua del tanque CIP fluirá a través del intercambiador de calor para drenarse vía CV-4 por un periodo de tiempo de 4 minutos.
- 4) Cuando los 4 minutos han transcurridos CV-14 y CV-22 abren, CV-4 se cierra. El flujo de agua ahora va a través del intercambiador de calor para drenar el tanque de almacenamiento vía CV-22 por un periodo de tiempo de 2 minutos.
- 5) Cuando han transcurrido los 2 minutos CV-15 se abrirá y CV-14 se cerrará. El flujo de agua va a través del intercambiador de calor y a través de la bola de spray en el tanque de almacenamiento para drenar vía CV-22 por 1 minuto.
- 6) Cuando transcurra 1 minuto CV-22 se cerrará y el flujo de agua continuará a través de la bola de spray en el tanque de almacenamiento. En este momento el tanque de almacenamiento comenzará a llenarse con agua. Una vez que la sonda de nivel (LSL-118) sense líquido CV-12, CV-21 se abren y la bomba #3 arrancará. En este momento el agua está fluyendo a través del intercambiador de calor, a través de la bola de spray en el tanque de almacenamiento y a través de la estación de trasiego Bulldog. (Comprobar que la estación de trasiego está en modo CIP antes de iniciar la secuencia CIP en el pasteurizador). El primer lavado con agua comenzará a partir de este momento.
- 7) Cuando el tiempo del primer lavado termine CV-7, CV-9, CV-11, CV-15, CV-12, CV-21 se cierran y la bomba #1 y #3 se apagan. El primer lavado está completo ahora.

B) Lavado con sosa cáustica:

- 1) Completado el primer lavado con agua CV-6 se abre para drenar el tanque CIP. Al mismo tiempo CV-22 se abrirá para drenar el tanque de almacenamiento.
- 2) Una vez que el tanque CIP está vacío se abrirá CV-2 para llenar el tanque CIP con agua y se energizará el solenoide #5 durante el tiempo preseleccionado para manipular la bomba de diafragma, la cual pondrá la solución de cáustica dentro del tanque CIP.
- 3) Una vez que la sosa cáustica caliente llene el tanque CIP se abrirán CV-7, CV-11, CV-17 y CV-16. Las bombas #1 y #2 arrancarán luego de un corto tiempo de retardo. Se abrirá CV-4 por el periodo de tiempo prefijado para impulsar el agua en el sistema de drenaje. Después de transcurrido el tiempo CV-3 se abrirá y CV-4 se cerrará. En este tiempo la solución cáustica circulará a través del intercambiador de calor por un periodo de tiempo de 10 minutos con el fin de calentar la solución a una temperatura apropiada para el CIP.
- 4) Una vez que la solución cáustica ha sido calentada por un periodo de 10 minutos se cierran CV-4, CV-22 y CV-3. El agua remanente en las tuberías entre el intercambiador de calor y el tanque de almacenamiento es drenada por 10 segundos.
- 5) Una vez transcurridos los 10 segundos CV-14 y CV-22 se cierran y CV-15 se abre. A partir de este punto el tanque de almacenamiento se está llenando con la

solución cáustica. Cuando la sonda de bajo nivel (LSL-118) en el tanque de almacenamiento detecte líquido se abre CV-12 y la bomba #3 se enciende. Al mismo tiempo CV-21 abre por 40 segundos y se inicia el tiempo de lavado con sosa cáustica. Cuando terminan los 40 segundos CV-20 abre y CV-21 se cierra. En este momento la solución de cáustica sigue a través del intercambiador de calor, a través de la bola de spray en el tanque de almacenamiento, a través de la estación de trasiego y regresa al tanque CIP.

- 6) Cuando el tiempo de lavado de cáustica termina las bombas #1, #2 y #3 se apagan, se cierran las válvulas CV-7, CV-9, CV-11, CV-12, CV-15 y CV-20. El lavado de cáustica está ahora completo.

C) Lavado final con agua:

- 1) Una vez completado el ciclo de lavado de cáustica, CV-6 se abrirá para drenar el tanque CIP. Cuando el tanque CIP esté vacío CV-2 se abrirá y el tanque será lavado/enjuagado por 2 minutos. Transcurrido los 2 minutos se cerrará CV-6 y el tanque CIP se llenará de agua. Al mismo tiempo CV-22 se abrirá para drenar el tanque de almacenamiento.
- 2) Una vez que el tanque CIP está lleno y el tanque de almacenamiento ha sido drenado se abren CV-7, CV-11 y CV-4. CV-9 se abre al 100% y se arranca la bomba #1. El agua empujará la solución de cáustica remanente en las tuberías entre el intercambiador de calor y el tanque CIP para drenarse vía CV-4 por 2 minutos.
- 3) Transcurridos los 2 minutos se abren CV-14 y CV-22, se cierra CV-4. La solución cáustica remanente en las tuberías entre el intercambiador de calor y el tanque de almacenamiento será impulsada para drenarse vía CV-22 por 2 minutos.
- 4) Transcurrido el tiempo de 2 minutos CV-15 abre y CV-14 se cierra. El agua fluirá a través de la bola de spray del tanque de almacenamiento drenándose por 1 minuto.
- 5) Cuando transcurra el minuto se cierra CV-22 y el agua comienza a llenar el tanque de almacenamiento. Cuando la sonda de nivel bajo (LSL-118) sense líquido CV-12, CV-21 se abren y se arranca la bomba #3. En este momento el agua fluye a través del intercambiador de calor, a través de la bola de spray en el tanque de almacenamiento y a través de la estación de llenado Bulldog y regresa vía CV-21. El tiempo de lavado final comenzará en este momento.
- 6) Cuando finalice el lavado CV-7, CV-9, CV-11, CV-15, CV-12, CV-21 se cierran y la bomba #1 y #3 se apagan. Ocurrido lo anterior CV-6 se abre drenando el tanque CIP y CV-22 se abrirá drenando el tanque de almacenamiento.
- 7) Una vez que están vacíos los tanques CIP y de almacenamiento la rutina está completa.

2.3 Técnicas de control propuesta.

Las señales analógicas existentes que son medidas por los sensores de temperatura y el sensor de flujo son enviadas al PLC a un módulo de entrada analógica en forma de corriente (lazo de 4-20mA) que corresponderá al rango de medición del sensor respectivamente, el control realizado en estos será mediante un bloque de PIDCAL, los

parámetros para la realización del control mediante el PLC a introducir en el bloque PID son dados en la tabla 2.1 del Anexo 3 [2].

El PLC procesará la información enviada de los sensores convirtiendo la misma a formato digital a través del convertidor A/D del módulo de entrada analógica y la señal de control será enviada a un módulo de salida analógica procesándola a través de un convertidor D/A para transformar la misma nuevamente al lazo de corriente 4-20mA que será enviada a la respectiva válvula de control, en dependencia de los valores de ajustes prefijados.

El control que se utilizará para las señales digitales será mediante el tipo On/Off, pues las señales de entrada son enviadas al respectivo módulo digital de entrada para mediante el PLC activar o desactivar una salida mediante un módulo de salida digital.

Ahora que son conocidas las técnicas de control que definitivamente se usarán, se está en condiciones de realizar la configuración del hardware específico de la aplicación. Se concibió como bloque de control el PLC GLOFA de LG de la serie GM6, como fuente de alimentación el módulo GM6-PAFB, para el módulo CPU el GM6-CPUB que incluye un bloque con la función PID y no requiere un módulo externo para este propósito, además de poseer una función especial de comunicaciones serie RS-422 y RS-485. Para el procesamiento de las variables del proceso se proponen: un módulo de entradas analógicas G6F-AD2A de 4 canales, un módulo de entradas digitales G6I-D22B de 16 canales y un módulo de entradas digitales G6I-D21A de 8 canales, un módulo de salidas analógicas G6F-DA2I de 4 canales y 2 módulos de salidas digitales G6Q-RY2A de 16 canales. Con el esquema de control, están creadas las condiciones para una vez que se disponga del PLC propuesto, se implemente la solución propuesta.

2.4 Posibles fallos y alarmas del Pasteurizador.

Durante el proceso de pasteurización y lavado de los tanques e intercambiador para el posterior llenado de los toneles, pueden ocurrir fallos en algunos de sus pasos secuenciales que impidan el perfecto funcionamiento de estas máquinas, y por tal motivo, limitan la producción del salón, estos posibles fallos o afectaciones que pueden presentar las máquinas en cada paso del proceso de pasteurización son los siguientes [2]:

1. Fallo en las sondas del tanque de almacenamiento: la causa de esto puede ser que la sonda de nivel alto esté sensando líquido antes que la sonda de nivel bajo. Para darle solución es preciso
 - Inspeccionar el cableado desde el PLC a las sondas de nivel.
 - Limpiar las mismas.
2. Fallo en la sondas del tanque CIP: la causa de esto puede ser que la sonda de nivel alto esté sensando líquido antes que la sonda de nivel bajo. Para darle solución es preciso

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

- Inspeccionar el cableado desde el PLC a las sondas de nivel.
 - Limpiar las mismas.
3. Alarma de flujo mínimo: la velocidad del flujo a través del intercambiador de calor está por debajo de 36.4L/min. Para darle solución es preciso
- Asegurarse que el aire de instrumentación está entre 80 - 100PSI.
 - Chequear que las tuberías están inundadas con líquido.
 - Chequear que la señal de 4 – 20mA está conectada al PLC desde el flujómetro.
 - Chequear que el control de aire de 3 - 15PSI se envía a la válvula de control de flujo.
4. Alarma de flujo máximo: la velocidad del flujo a través del intercambiador de calor está por encima de 40.5L/min. Para darle solución es preciso
- Chequear que la señal de 4 – 20mA está conectada al PLC desde el flujómetro.
 - Chequear que el control de aire de 3 - 15PSI se envía a la válvula de control de flujo.
5. Alarma de presión mínima: la presión en las tuberías de mantención está por debajo de 110PSI en el modo de Inicio ó 120PSI en el modo de Corrida. Para darle solución es preciso
- Asegurarse que el aire de instrumentación está entre 80 - 100PSI.
 - Chequear que las válvulas automáticas respectivas estén apropiadamente abiertas.
 - Chequear que la bomba #1 está inundada.
6. Alarma de presión máxima: la presión en las tuberías de mantención está por encima de 200PSI en el modo de Inicio y en el modo de Corrida. Para darle solución es preciso
- Chequear las tuberías por bloqueos.
 - Chequear que las válvulas automáticas respectivas estén apropiadamente abiertas.
7. Sonda de nivel máximo en el tanque de almacenamiento: el tanque de almacenamiento está al máximo de su capacidad de 15HL. Para darle solución es preciso
- Esta condición de alarma se reseteará cuando la sonda de nivel medio no detecte el líquido.
8. Temperatura en la tubería de mantención máxima: la temperatura está por encima de 74°C. Para darle solución es preciso

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

- Chequear que la señal de 4 – 20mA está conectada al PLC desde el transmisor de temperatura (TT-105).
 - Chequear que el control de aire de 3 - 15PSI llega a la válvula de control de temperatura (TCV-128).
9. Temperatura en la tubería de mantención mínima: la temperatura está por debajo de 68°C. Para darle solución es preciso
- Chequear que la alimentación de vapor esté activada.
 - Asegurarse que el aire de instrumentación está entre 80 - 100PSI.
 - Chequear que la válvula CV-17 esté abierta.
 - Chequear que la señal de 4 – 20mA está conectada al PLC desde el transmisor de temperatura (TT-105).
 - Chequear que el control de aire de 3 - 15PSI llega a la válvula de control de temperatura (TCV-128).
10. Temperatura de enfriamiento máxima: la temperatura de la cerveza en la descarga está por encima de 15°C. Para darle solución es preciso
- Chequear que la válvula manual de glicol está abierta.
 - Chequear que la válvula CV-10 está abierta.
 - Chequear que la señal de 4 – 20mA está conectada al PLC desde el transmisor de temperatura (TT-111).
 - Chequear que el control de aire de 3 - 15PSI llega a la válvula de control de temperatura (TCV-113).
11. Temperatura de enfriamiento mínima: la temperatura de la cerveza en la descarga está por debajo de 0.5°C. Para darle solución es preciso
- Chequear que la señal de 4 – 20mA está conectada al PLC desde el transmisor de temperatura (TT-111).
 - Chequear que el control de aire de 3 - 15PSI llega a la válvula de control de temperatura (TCV-113).
12. Sobrecarga de la bomba #1: la protección por sobrecarga de la bomba #1 se ha disparado. Para darle solución es preciso
- Inspeccionar la bomba para asegurarse que el motor está girando libremente.
 - Comprobar la alimentación en el panel de control de motores.
13. Sobrecarga de la bomba #2: la protección por sobrecarga de la bomba #2 se ha disparado. Para darle solución es preciso
- Inspeccionar la bomba para asegurarse que el motor está girando libremente.
 - Comprobar la alimentación en el panel de control de motores.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

14. Sobrecarga de la bomba #3: la protección por sobrecarga de la bomba #3 se ha disparado. Para darle solución es preciso

- Inspeccionar la bomba para asegurarse que el motor está girando libremente.
- Comprobar la alimentación en el panel de control de motores.

15. La bomba #1 no está en la posición Auto: el interruptor está en la posición Off o en Manual. Para darle solución es preciso

- Cambiar a la posición Auto.

16. La bomba #2 no está en la posición Auto: el interruptor está en la posición Off o en Manual. Para darle solución es preciso

- Cambiar a la posición Auto.

17. La bomba #3 no está en la posición Auto: el interruptor está en la posición Off o en Manual. Para darle solución es preciso

- Cambiar a la posición Auto.

2.5 Definición de las variables o señales de control a procesar.

De vital importancia resulta para la programación del autómeta la determinación de todas las señales de entrada y salida que manejarán los mismos. De la exactitud y correcto manejo del mismo, dependerá la eficiencia y buen funcionamiento de la máquina a controlar. En las tablas 2.2 y 2.3 que se muestran a continuación, aparecen cada una de las señales de entrada y salida que intervienen en el proceso de pasteurización.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

No	Nombre	Tipo de entrada	Descripción
1.	Inicio	Digital	Selector del modo de inicio del proceso de pasteurización.
2.	Corrida	Digital	Selector del modo de trabajo del proceso de pasteurización.
3.	CIP	Digital	Selector del modo CIP para el proceso de lavado de tuberías y tanques.
4.	Parada de emergencia	Digital	Botón de parada en caso de emergencia.
5.	LSH-tanque CIP	Digital	Sensor de nivel en el tanque CIP.
6.	LSL-tanque CIP	Digital	Sensor de nivel en el tanque CIP.
7.	LSH-tanque de cerveza	Digital	Sensor de nivel en la parte superior del tanque de cerveza.
8.	LSM-tanque de cerveza	Digital	Sensor de nivel en la parte superior del tanque de cerveza.
9.	LSL-tanque de cerveza	Digital	Sensor de nivel en la parte superior del tanque de cerveza.
10.	Relé #2 (Switch de presión)	Digital	Envío de una señal discreta cuando $120 \text{ PSI} > P$ o $P > 200 \text{ PSI}$ en la tubería.
11.	Flujómetro	Análogica	Sensor de flujo en las tuberías.
12.	Pt100 para la temperatura de vapor	Análogica	Sensor de temperatura en el intercambiador de calor
13.	Pt100 para la temperatura de alcohol	Análogica	Sensor de temperatura en la salida del intercambiador de calor
14.	Modo manual de bomba #1	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #1.
15.	Modo manual de bomba #2	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #2.
16.	Modo manual de bomba #3	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #3.
17.	Modo automático de bomba #1	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #1.
18.	Modo automático de bomba #2	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #2.
19.	Modo automático de bomba #3	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #3.
20.	Modo automático de bomba #4	Digital	Selector de modo de trabajo de la bomba #4.
21.	Realimentación de motor #1	Digital	Protección contra sobrecarga.
22.	Realimentación de motor #2	Digital	Protección contra sobrecarga.
23.	Realimentación de motor #3	Digital	Protección contra sobrecarga.

Tabla 2.2 Señales de entrada a controlar.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

No	Nombre	Tipo de salida	Descripción
1	Bomba de sosa cáustica	Digital	Válvula de solución de sosa cáustica en el tanque CIP.
2	Alimentación de agua	Digital	Válvula de alimentación de agua.
3	Retorno del tanque CIP	Digital	Válvula del retorno del tanque CIP.
4	Drenaje	Digital	Válvula de drenaje.
5	Drenaje del tanque CIP	Digital	Válvula del drenaje del tanque CIP.
6	Salida del tanque CIP	Digital	Válvula de salida del tanque CIP.
7	Alimentación de cerveza	Digital	Válvula de alimentación de cerveza.
8	Contr. de flujo	Digital	Válvula de control de flujo.
9	Contr. de alcohol	Digital	Válvula de control de alcohol.
10	Orificio	Digital	Válvula de orificio para reducir presión.
11	Salida del tanque de almacenamiento	Digital	Válvula de salida del tanque de almacenamiento.
12	Drenaje del tanque de almacenamiento	Digital	Válvula de drenaje del tanque de almacenamiento.
13	Alimentación del tanque de almacenamiento	Digital	Válvula de alimentación al tanque de almacenamiento.
14	Bola de spray del tanque de almacenamiento	Digital	Válvula de bola de spray del tanque de almacenamiento.
15	Controlador de vapor	Digital	Válvula para el control de vapor de agua.
16	Alimentación de vapor	Digital	Válvula de alimentación de vapor de agua.
17	CO ₂ del tanque de almacenamiento	Digital	Válvula de control de entrada de CO ₂ al tanque de almacenamiento.
18	Inyección del CO ₂	Digital	Regulador de CO ₂ .
19	Retorno CIP	Digital	Válvula del retorno CIP.
20	Retorno del drenaje CIP	Digital	Válvula del retorno del drenaje CIP.
21	Sobrecarga de bomba #1	Digital	Protección para la bomba #1.
22	Sobrecarga de bomba #2	Digital	Protección para la bomba #2.
23	Sobrecarga de bomba #3	Digital	Protección para la bomba #3.
24	Alarma sonora	Digital	Indicación de determinadas condiciones de alarma.
25	Contr. de alcohol	Analógica	Señal de control para la alimentación de alcohol.
26	Contr. de flujo	Analógica	Señal de control para la alimentación de flujo.
27	Controlador de vapor	Analógica	Señal de control para la alimentación de vapor.

Tabla 2.3 Señales de salida a controlar.

En el Anexo 1 se muestran las figuras 2.5 a 2.10, que es la manera correcta de realizar las conexiones de los módulos en el PLC, tanto analógico como digitales, y a

continuación las entradas y salidas del proceso en cuestión cableada a los módulos del PLC.

2.6 Soporte técnico a emplear.

La tarea básica del control se reduce a la conexión y desconexión de los elementos involucrados, es decir a abrir o cerrar las distintas válvulas en cada uno de los pasos del proceso en dependencia de las variables sensadas.

El accionamiento de las válvulas de todo el sistema se muestra en la figura 2.11 del Anexo 1 asociados a cada señal de salida del sistema a controlar.

Por tanto, el uso de un PLC para esta aplicación es el adecuado, pues este tipo de equipamiento está destinado para solucionar tareas de mando y regulación en maquinarias e instalaciones, brindar el máximo efecto de automatización al mínimo costo, la posibilidad de operar de forma autónoma e interconectado en red, programación y uso particularmente fáciles, así como la opción de conectarse con unidades de interfaz hombre-máquina que permite la parametrización, entrada de datos, visualización, entre otras facilidades mencionadas en el capítulo anterior.

2.7 Algoritmo de programación.

Una vez descrito detalladamente el funcionamiento de las máquinas y determinadas las señales de entrada y salida para el control del proceso, se obtuvo el algoritmo de funcionamiento (ver Organigramas 2.1 al 2.7 del Anexo 2), el cual no son más que la secuencia o pasos lógicos que se deben cumplir en cierto proceso, en dependencia del cumplimiento o no de determinadas condiciones, para una buena comprensión de los mismos, ON significa que la válvula se abrirá y OFF que cerrará la misma, o activa y desactiva respectivamente, para los sensores ON significa que se ha sentido la variable del proceso (sea presión, temperatura, flujo o nivel de los tanques).

Los temporizadores de algunos estados (T_n), como por ejemplo, el retardo de una bomba para luego encenderse serán indicados en la puesta en marcha por los especialistas para lograr un buen funcionamiento del sistema.

La obtención del algoritmo de funcionamiento del pasteurizador, resulta de vital importancia para la programación del autómatas, pues se pretende que el personal calificado de la fábrica sea capaz de operar los PLC a nivel de programación, se ha confeccionado el algoritmo en forma sencilla y con la misma secuencia de pasos lógicos del funcionamiento explicado anteriormente. Esto garantiza que el algoritmo sea robusto, flexible y de fácil entendimiento, siendo capaz de adaptarse en un futuro a nuevas características de funcionamiento del mismo.

Todo esto tiene el objetivo final de lograr un esquema de control más eficiente, y una programación que elimine las deficiencias que afectan el proceso productivo.

2.8 Descripción de la instrumentación para usar en el Pasteurizador Flash.

A continuación se brindan los medios técnicos que participan en el proceso de pasteurización, y una vez conocidos los mismos, es preciso saber la funcionalidad de cada uno de los instrumentos que participan en el sistema de pasteurización, pues de esta manera se brinda también una panorámica de cómo debe trabajar el sistema de pasteurización.

Bomba de alimentación para el tanque de bebida: esta bomba provee la bebida y no es controlada por el pasteurizador.

Válvula de mariposa automática de 2" (CV-8): esta válvula se abre cuando la máquina cambia del modo de operación al modo de corrida. Una vez que se abre la válvula la cerveza del tanque de bebida es bombeada a través del pasteurizador al tanque de almacenamiento.

Bomba de alimentación #1 (23HL/hr a 114PSI): permite al usuario proveer con la bomba de alimentación la cerveza a través de intercambiadores de calor y que permanezca a una presión mínima de 120PSI. Esta presión alta es necesaria para mantener los niveles de CO_2 en la solución a la temperatura requerida para pasteurizar la cerveza.

Elemento de flujo (FE-100): el elemento de flujo envía una señal de 4-20mA al controlador indicando la velocidad del flujo a través de la tubería.

Control de flujo sanitario (FCV-101): este controla neumáticamente la posición variable de la válvula. El control viene del solenoide #9. Esta válvula tiene un circuito para controlar la posición de la válvula. La posición de la válvula se calcula leyendo la lectura del elemento de flujo y comparando este con el valor de referencia introducido en el controlador (PLC).

Regulador de presión de CO_2 (PRV-102): este regulador controla la entrada de CO_2 al tanque de almacenamiento.

Indicador de presión de CO_2 (PI-104): este equipo brinda una lectura visual de la referencia a la que el tanque de almacenamiento debe presurizarse.

Intercambiadores:

Válvula de mariposa manual de 2": esta válvula es usada para drenar los intercambiadores de calor.

Tubería de mantención: esta tubería 2 OD es diseñado para mantener la cerveza a 70°C por 25s al generar 15 unidades de pasteurización (UP).

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

RTD sanitario (RTD-105): este envía una señal de resistencia al controlador (PLC) indicando la temperatura de la cerveza dentro de la tubería.

Interruptor sanitario de presión (PS-106): este envía una señal discreta al PLC cuando la presión en la tubería está por debajo de 120 PSI o por encima de 200 PSI.

Indicador de temperatura (TI-116): provee una lectura de la temperatura de la cerveza a la entrada del tanque de almacenamiento.

Indicador de presión (PI-115): provee una lectura de la presión en la salida de la presión de atrás de la válvula #11.

Sistema de temperatura de salida:

RTD sanitario (RTD-111): este equipo envía una señal de resistencia al controlador (PLC) indicando la temperatura de descarga de la cerveza dentro de la sección de enfriamiento del intercambiador de calor.

Válvula de control para el alcohol (TCV-113): esta controla neumáticamente la posición variable de la válvula. El control viene del solenoide #10. La válvula es usada para controlar la temperatura de la cerveza en la descarga de la sección de enfriamiento del intercambiador de calor. La válvula tiene un circuito para controlar la posición de la válvula, esta posición se calcula leyendo la señal de RTD-111 y la compara con la referencia entrada en el controlador (PLC).

Válvula de presión de orificio de 2" (CV-11): la función de esta es reducir la presión de la cerveza a la salida de la sección de enfriamiento del intercambiador de calor. Durante el CIP esta válvula esta abierta para permitir un completo flujo y presión.

Sistema superior de CO_2 :

Rotámetro: equipo utilizado para inyectar CO_2 dentro de la cerveza.

Válvula de aguja: esta válvula es usada para el control del nivel de inyección del CO_2 dentro de la cerveza.

Válvula solenoide (CV-19): esta controla la alimentación de CO_2 para la parte superior del sistema de CO_2 .

Válvula de cheque: esta válvula previene que la cerveza viaje de regreso a la parte superior del sistema de CO_2 .

Indicador de presión (PI-108): este da una lectura de la presión en la tubería.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

Indicador de temperatura (TI-109): este da una lectura de la temperatura de la cerveza en la tubería.

Válvula automática de mariposa de 2" (CV-15): esta válvula opera durante el modo "CIP" de la pasteurización.

Válvula automática de mariposa de 2" (CV-14): esta válvula está abierta durante la operación normal del modo "Corrida". La válvula cerrará si hay alguna alarma durante el modo "Corrida". También abre y cierra durante algunas secuencias del modo "CIP".

Sistema de tanque de almacenamiento:

Tanque de almacenamiento: se trata de un tanque de 15HL, que ocupa la cerveza pasteurizada bajo presión hasta que se pone en barriles. El caudal de producción es de 25HL/hr en unos 40 minutos cuando el tanque está lleno.

Válvula al vacío/ presión auxiliar: es un equipo de seguridad, cuando la presión a descargar del tanque excede una presión de 14.5PSI aproximadamente aliviará la presión. Este también previene que la presión del tanque no caiga por debajo de la presión atmosférica.

Sondas de nivel (LSH-119, LSM-134, LSL-118): estas tres sondas de nivel montado en la parte superior del tanque de reposo se encargan de controlar el líquido en el interior del tanque.

Termómetro (TI-117): este equipo da una lectura visual de la temperatura de la cerveza en el tanque de almacenamiento.

Válvula solenoide de CO_2 (CV-18): esta es normalmente abierta, la cual cierra solamente durante algunas secuencias del modo "CIP". La válvula alimenta CO_2 al regulador de presión del tanque y provee alimentación de CO_2 al tanque de almacenamiento presurizado.

Regulador de presión del CO_2 (PRV-121): este regulador controla la alimentación del CO_2 al tanque de almacenamiento.

Indicador de presión de CO_2 (PI-120): brinda una lectura de la presión de alimentación al tanque de almacenamiento.

Válvula de cheque de CO_2 : previene un escape del CO_2 en el tanque de almacenamiento a través del regulador #121.

Regulador de presión en el tanque BMS: este equipo permitirá balancear al CO_2 a la referencia del regulador #102. El CO_2 será añadido o restado en dependencia de las condiciones.

Válvula manual de mariposa de 2”: esta válvula es usada para drenar el tanque de almacenamiento.

Válvula automática de mariposa de 2” (CV-12): esta válvula esta abierta durante la operación del modo “Corrida”. También abre durante el modo “CIP”.

Bomba #3: esta bomba de 3HP se utiliza para aumentar la presión de la cerveza en el tanque a una presión adecuada para llenar los barriles (aproximadamente 40-55PSI).

Válvula automática de 2” (CV-20): esta se abre para regresar la solución CIP dentro del tanque CIP.

Válvula automática de 2" (CV-21): esta válvula desvía el líquido a drenar. La válvula se abrirá al comienzo de cada secuencia CIP para impulsar cualquier líquido remanente en la tubería de desagüe.

Sistema de tanque CIP:

Tanque CIP: es un tanque de 5HL, que mantiene la solución CIP. Durante el modo de “Inicio”, el agua del tanque de CIP viaja a través del pasteurizador mientras el sistema está en equilibrio y el pasteurizador está en el modo “Corrida”.

Sondas de nivel (LSL-132, LSH-131): hay dos sondas de nivel montadas en la parte superior del tanque de CIP. Estas dos sondas se utilizan para controlar el nivel de líquido en el tanque.

Termómetro (TI-133): este dispositivo proporciona una lectura visual de la temperatura en el tanque de CIP.

Válvula de plástico para cáustica de 1”: este es el apagado de la alimentación de la válvula de sosa cáustica.

Bomba wilden: se activa por la acción del aire en el diafragma de la bomba. El control del aire viene dado por el solenoide #5. La bomba se utiliza para poner solución de sosa cáustica en el tanque CIP.

Válvula automática de 2" (CV-2): esta válvula lleva agua al tanque CIP cuando sea necesario.

Válvula manual de bola para el regreso de alcohol: es una válvula aislada usada para cerrar la línea de regreso de alcohol desde el pasteurizador.

Válvula manual de bola para la alimentación de alcohol: es una válvula aislada para cerrar la alimentación de alcohol del pasteurizador.

Sistema de control de temperatura:

Válvula de control de temperatura (TCV-128): esta controla neumáticamente la posición variable de la válvula. El control del suministro de aire viene dado por el solenoide #16. La válvula se usa para controlar la temperatura de la cerveza en la tubería de mantención. Esta válvula contiene un circuito de control montado en su parte superior, el cual controla la posición de la válvula. La posición en la válvula se calcula leyendo la señal de RTD-105 y comparándola con la referencia entrada a través del controlador (PLC).

Válvula solenoide de vapor de ½” (CV-17): esta válvula suministra vapor a la válvula de control de temperatura #128.

Válvula manual de mariposa de 1”: esta válvula debe estar abierta sólo para llenar el tanque de agua caliente antes de iniciar cualquier operación del pasteurizador.

Válvula de bola de 1/8”: cuando esta válvula cierra aísla el indicador de presión #129 de la línea de suministro de vapor.

Indicador de presión (PI-129): proporciona una lectura visual de la presión de vapor de salida de la válvula de control de la temperatura # 128.

Válvula de bola de 1/8”: cuando esta válvula cierra aísla el indicador de presión #127 de la línea de suministro de vapor.

Indicador de presión (PI-127): este provee una lectura visual de la presión de alimentación de vapor a la válvula de control de temperatura #128.

Tanque de agua caliente: el agua en el tanque se calienta con inyección de vapor vivo.

Bomba de recirculación de agua caliente #2: es una bomba de 1HP, la cual alimenta agua caliente a través de la sección de calentamiento del intercambiador de calor a razón de 46HL/hr.

Válvula manual de bola de 1”: es usada para drenar el agua caliente del tanque.

Válvula automática de 2” (CV-3): se abre durante el modo de “Inicio” para regresar la solución al tanque CIP. También se abre durante condiciones de alarma en el modo “Corrida”.

Válvula automática de 2” (CV-7): esta válvula está abierta durante el modo de “Inicio” para permitir que la solución circule del tanque CIP a través del pasteurizador. También está abierta durante el modo “CIP”.

Válvula automática de 2" (CV-6): esta válvula se abre durante ciertas secuencias del modo "CIP" con el fin de drenar el tanque CIP.

Válvula automática de 2" (CV-4): esta válvula desvía la solución a drenarse. Esta se abre temporalmente en el modo "Corrida" con condiciones de alarma. Se abre brevemente durante cada secuencia del modo "CIP".

Indicador de presión (PI-110): esta da una lectura visual de la presión de salida de la sección de enfriamiento del intercambiador de calor.

2.9 Análisis técnico económico y valoración medio ambiental.

2.9.1 Análisis técnico económico.

En cualquier trabajo o proyecto, es de vital importancia realizar un análisis Técnico-Económico para tener una idea de cuanto se va a gastar, a cobrar, ó cuanto se ahorrará con la realización del mismo. La materialización de este trabajo de manera general conlleva la compra del PLC GLOFA de LG de la serie GM6 con todos los módulos correspondientes propuestos, para la sustitución del esquema de control automático de las máquinas, con valor aproximado de 1900.00 CUC, las dos Pt100 con valor aproximado de 585.00 CUC, las cinco sondas de nivel tendrán coste aproximado de 150.00 CUC, un presostato para la utilización del CO_2 con valor aproximado de 70.00 CUC, las tres bombas (de alta presión, hasta 150PSI) cuesta alrededor de 2400.00 CUC, se utilizará además un regulador de CO_2 con valor de 105.00 CUC, la inclusión de cuatro válvulas de mariposa de 100.00 CUC cada una y catorce válvulas automáticas con valor con valor aproximado de 140.00 CUC cada una. Para la utilización de los indicadores se necesitan cuatro para mostrar los niveles de temperatura con coste de 130.00 CUC cada una y siete de presión con coste aproximado de 70.00 CUC.

Por tanto el proyecto de manera general tendrá un valor de 8300.00 CUC.

Para este análisis es importante observar la tabla 2.4 del Anexo 3, en esta tabla aparecen las pérdidas para la fábrica en una hora y para un día de trabajo, por paro de la producción en el salón de cuñetes por falta de la cerveza dispensada.

Debido a la aleatoriedad de los fenómenos y la imposibilidad de obtener la información estadística en el departamento económico de la fábrica, ha resultado imposible determinar el impacto económico anual de la solución aplicada, no obstante el resultado del costo económico por interrupción en una jornada laboral, da la medida del efecto económico de este trabajo, suponiendo 350 cuñetes de 6 cajas producidos, lo cual se queda por debajo de lo que normalmente se debería producir en el salón. Para producir cada barril se invierten 25.30 MN, y estos son vendidos a gastronomía a 171.42 MN cada uno. De esta manera puede considerarse la aplicación de este trabajo y su generalización como beneficio para la instalación equivalente a 51247.00 MN diarios, amén del impacto social que provoca la estabilización del proceso productivo.

Capítulo II. Propuesta de control por PLC del Pasteurizador Flash

La decisión de implantar un sistema de control y automatización debe ser el resultado de aspectos como:

- Operar el proceso en forma segura y estable.
- Diseñar sistemas de control que el operador pueda vigilar, comprender y, cuando sea necesario, manipular en forma selectiva.
- Evitar desviaciones importantes respecto a las especificaciones de productos durante las perturbaciones.
- Permitir que el operador cambie un valor deseado (valor de referencia) sin perturbar indebidamente otras variables controladas.
- Evitar cambios considerables y rápidos en variables manipuladas que podrían incumplir restricciones de operación, o perturbar unidades integradas o situadas en escalafones inferiores.
- Operar el proceso en forma congruente con los objetivos de calidad de cada producto.
- Controlar las cualidades del producto en valores que maximicen su utilidad cuando se consideren índices y valores de productos y además, minimicen el consumo de energía.
- Posibilidad de integración/comunicación con los equipos existentes.

El presente proyecto cumplirá con los aspectos siguientes:

- Disminuirá los costos de operación y mantenimiento.
- Se humanizará el trabajo de los operadores y se aumentará el control sobre los recursos materiales con que se trabaja, lo que se traduce en un ahorro de las materias primas.
- Obtención de facilidades para disponer de señales de medición, ya que contará con dispositivos que brindan facilidades en el tratamiento de las señales.
- Flexibilidad para extensiones futuras.
- Pondrá en funcionamiento el sistema de pasteurización para la cerveza.

En el diseño de este sistema se obvió la modelación del mismo, programándose directamente, lo cual no garantiza la eficiencia, fiabilidad y seguridad los procesos automatizados en el proceso, por lo que se desarrolla un sistema de algoritmos de programación que garantizarán esto, pues es un trabajo de diploma que surge gracias a la colaboración de la fábrica con la Facultad de Ingeniería Eléctrica de La Universidad de Oriente.

El diseño de Automatización para el Pasteurizador Flash de la Fábrica de Cervezas Hatuey, cumple con los aspectos del diseño anterior, pero además incorpora los siguientes:

- Incrementa la confiabilidad de los sistemas y equipos, debido a que el sistema será tolerante a fallos, en caso de que en una variable sensada se produzca un fallo, el sistema se detendrá en espera de ser solucionado pasando a Alarmas en modo de Corrida o en el modo de Inicio, deteniendo el proceso en espera de lograr los valores de referencia de las variables del proceso, siguiendo luego con

el proceso, sin la posibilidad de pérdidas de materiales o de daños físicos en los dispositivos e instrumentos del sistema.

- Diagnóstico de equipos y eventos, ya que el sistema chequeará el estado constantemente de estos, indicando exactamente donde ocurrió el fallo en caso de haberse producido, además de visualizar cada evento que está ocurriendo, todo esto a través del panel XGT en el display y las indicaciones en el panel de control.
- Mayor flexibilidad en las maniobras operacionales, de mantenimiento y de reconexión.

2.9.2 Valoración de la influencia del proyecto en el medio ambiente.

El presente trabajo se enmarca en un proyecto de desarrollo de ingeniería basado en la aplicación de tecnologías electrónicas y de control. La instalación industrial en que se realiza el estudio, presenta un severo deterioro tecnológico, con un gran impacto en la contaminación sonora.

La esencia del trabajo desarrollado, es la sustitución del esquema de control automático de la máquina de pasteurización, basados en el diseño termomecánico que se encuentra en la fábrica, pero el cumplimiento de los objetivos propuestos en este trabajo no implica una modificación sustancial de la situación actual en cuanto a la agresividad de la instalación hacia el medio ambiente.

Con la instalación de un sistema CIP se gana en una reducción importante en el consumo de agua, además de que permite disminuir la cantidad de detergentes y desinfectantes que llegan al medio ambiente. Al utilizar el sistema CIP se logra mejorar la higiene del proceso de producción y, de esta forma, reducir la cantidad de productos finales que se descomponen por contaminación bacteriológica.

2.10 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

A partir de la descripción detallada de cada uno de los elementos que intervienen en el control del Pasteurizador Flash, así como de los requerimientos técnicos de las mismas, se lleva a cabo la propuesta de control de las mismas, seleccionando como soporte técnico, la utilización de un PLC, debido a las grandes ventajas que proporcionan en el control de procesos en comparación con otras variantes y se realiza, además, una descripción detallada del modo de funcionamiento de las máquinas.

Se definen cada una de las señales de entrada y salida que deberá manejar el autómatas para el control del proceso de pasteurización y lavado de las máquinas para la posterior utilización de las mismas.

Además se obtiene la secuencia operacional del tratamiento de las señales, es decir, los organigramas de control de las máquinas.

Finalmente se realiza la valoración medio ambiental y económica del trabajo realizado, para saber el impacto del mismo en la sociedad y para la fábrica.

CONCLUSIONES GENERALES.

Con el presente trabajo se ha obtenido una solución factible desde el punto de vista técnico y económico a las deficiencias tecnológicas y operacionales de la máquina de pasteurización de cerveza dispensada en la Fábrica "Hatuey", consistente en:

- La elaboración del diagrama de flujo del sistema de control de las operaciones industriales en el proceso referido.
- La selección del equipamiento básico para la sustitución del actual elemento esencial de control, consistente en la definición del tipo y prestaciones del PLC y la instrumentación de campo a utilizar.

RECOMENDACIONES.

A pesar de que este trabajo aborda la solución a uno de los problemas tecnológicos actuales de la Fábrica de Cervezas, es prudente realizar las siguientes recomendaciones en aras de ampliar el espectro de las soluciones factibles.

- Desarrollar las secuencias de eventos que se deben cumplir, así como el programa de control para la obtención de la malta teniendo en cuenta que debe cumplir con otras condiciones de operación para la obtención de este producto, pues en este trabajo solo se aborda acerca de la obtención de la cerveza pasteurizada para el llenado de los toneles.
- Desarrollar un proyecto de automatización de bajo nivel en proyecciones futuras para realizar la supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) mediante una interfaz hombre máquina (HMI) del proceso de pasteurización.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] Bychkó y colaboradores. Procesos Químicos y Termoenergéticos. Dinámica y Control. Tomo I.

[2] Beverage Machinery Service Inc.

[3] Colectivo de Autores. Autómatas Programables. Fundamentos, manejo, instalación y prácticas.

[4] Data Sheet User's Manual LG Programmable Logic Controller GLOFA GM6 Series. LG Industrial Systems.

[5] Data Sheet User's Manual XGT Panel. LS Industrial Systems.

[6] Manual 50 Sugerencias para una Mayor Eficiencia Ambiental en la Industria de Alimentos.

[7] Pina, Israel Benítez y Loperena, Luisa Villafruela. Monografía Sistemas para redes locales de automatización industrial. Centro de Estudios de Automatización (CEA). Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oriente.

[8] S.J. Derby, "Design of Automatic Machinery", New York, 2005.

[9] Richards, J.W. Introduction to Industrial Sterilization. Academic Press, 1968.

Sitios en INTERNET visitados el 3 de marzo del 2009:

[10] <http://www.beveragemachine.com/default.htm>

[11] <http://www.iddeas.com/339.html>

[12] <http://www.proyectosfindecarrera.com>

[13] <http://www.sachverstand-gutachten.de>

[14] <http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd>

ANEXOS.

Anexo 1. Figuras.

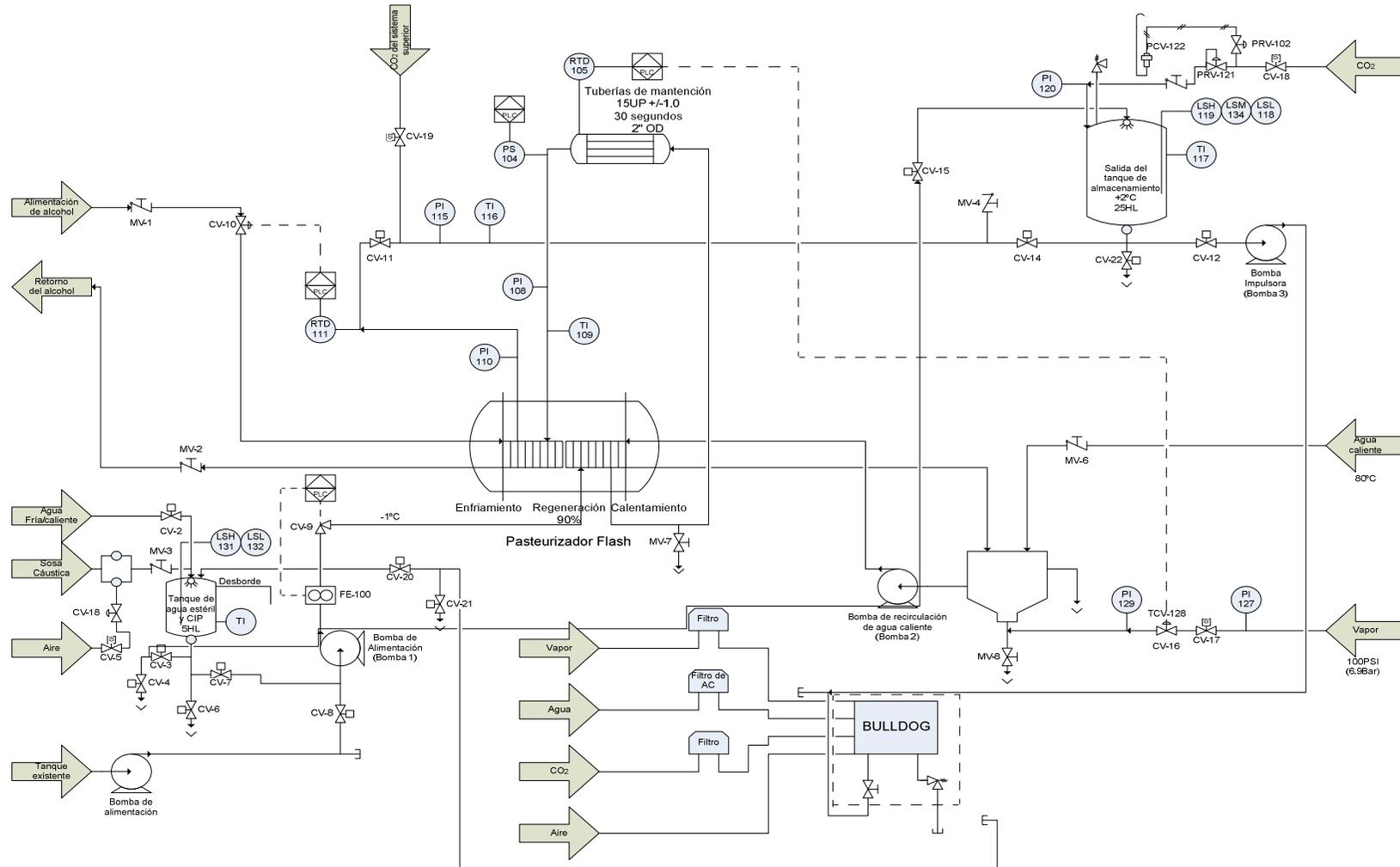


Figura 1.1 Diagrama de flujo del sistema del proceso de pasteurización.

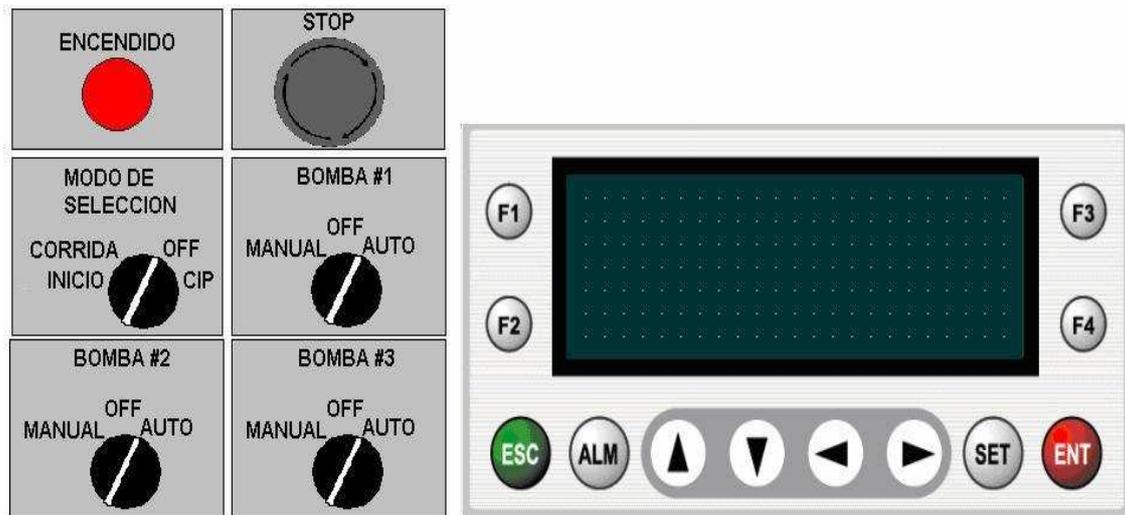


Figura 1.2 Compuerta del panel del control del PLC propuesto.

Módulos conductivos

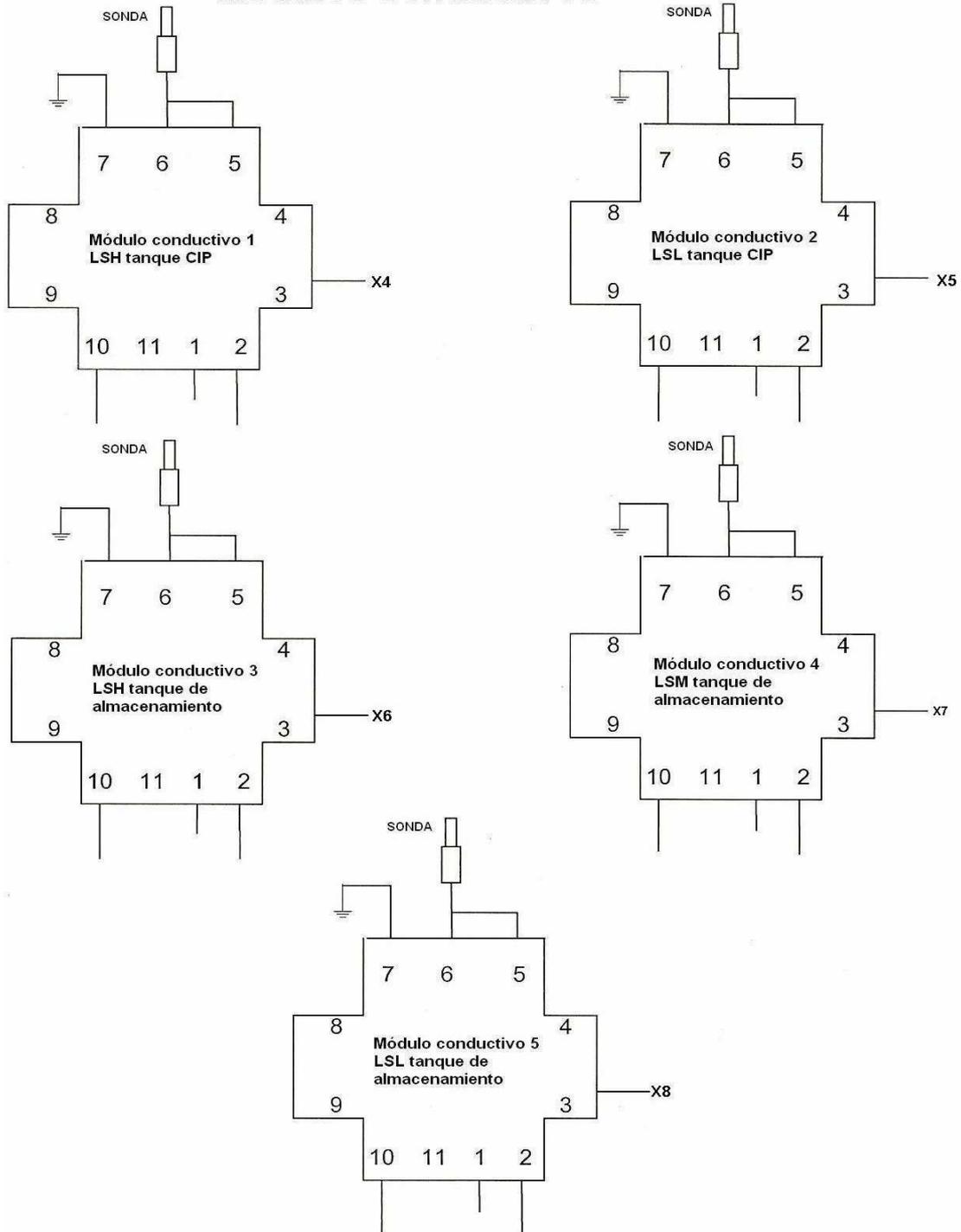


Figura 2.1 Circuitos de las sondas de nivel para los tanques CIP y almacenamiento.

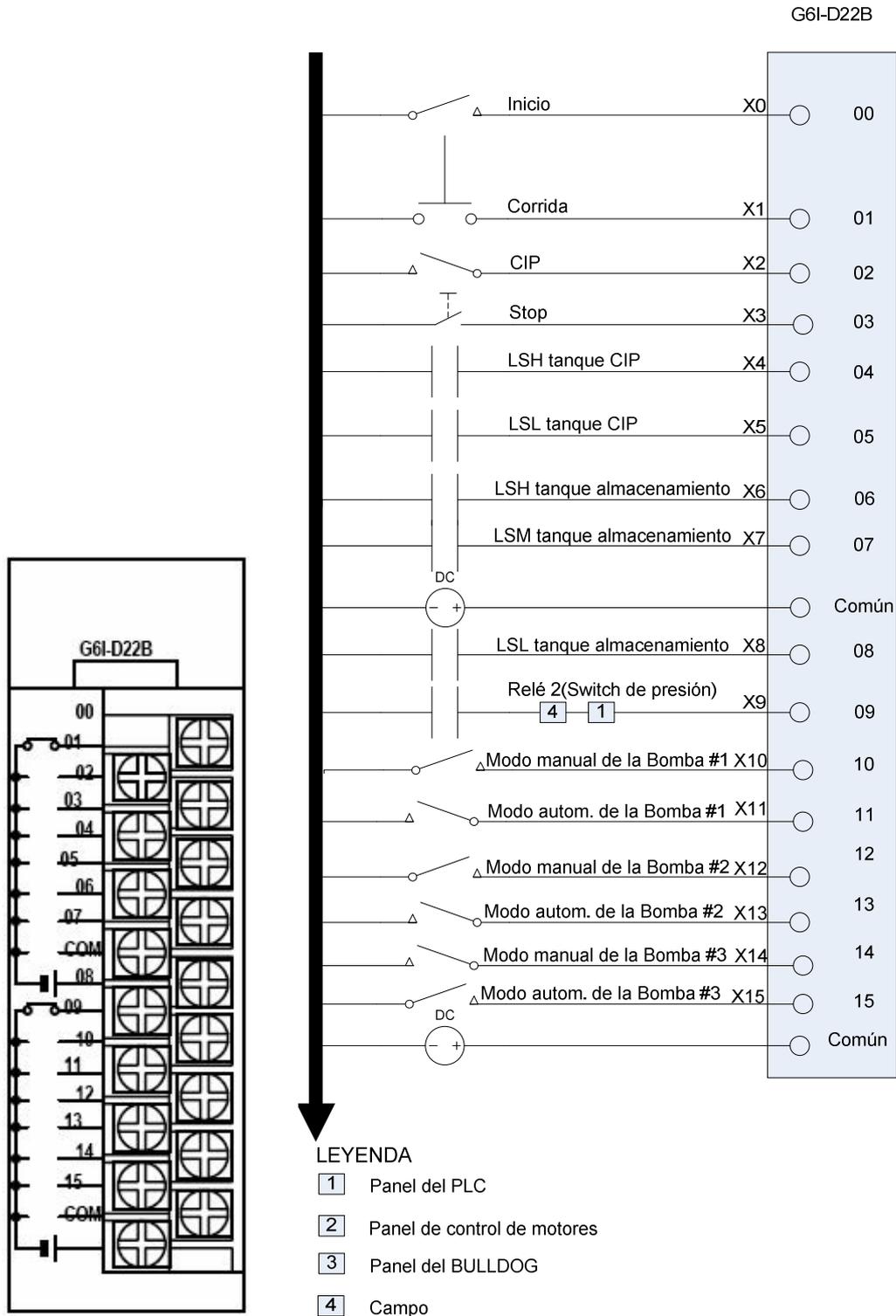


Figura 2.5 Señales de entradas conectadas al módulo digital 1 G6I-D22B.

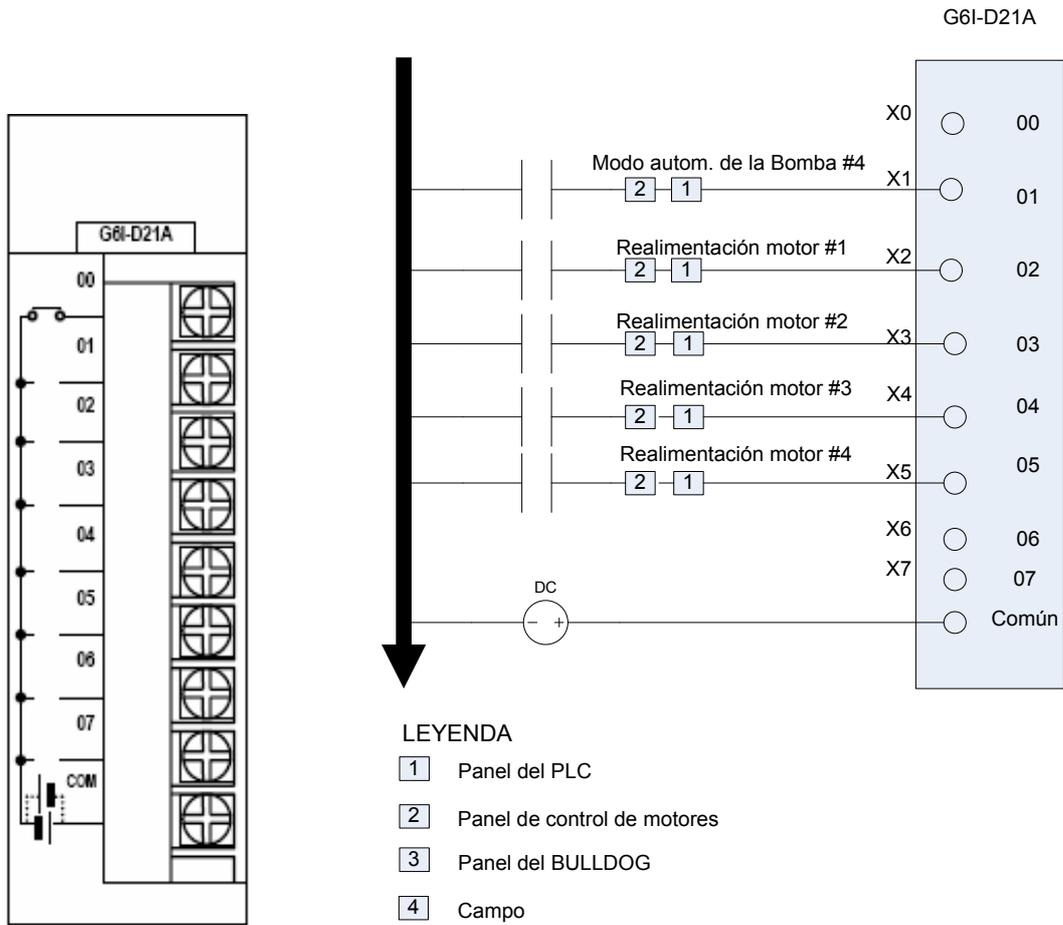


Figura 2.6 Señales de entradas conectadas al módulo digital 2 G6I-D22B.

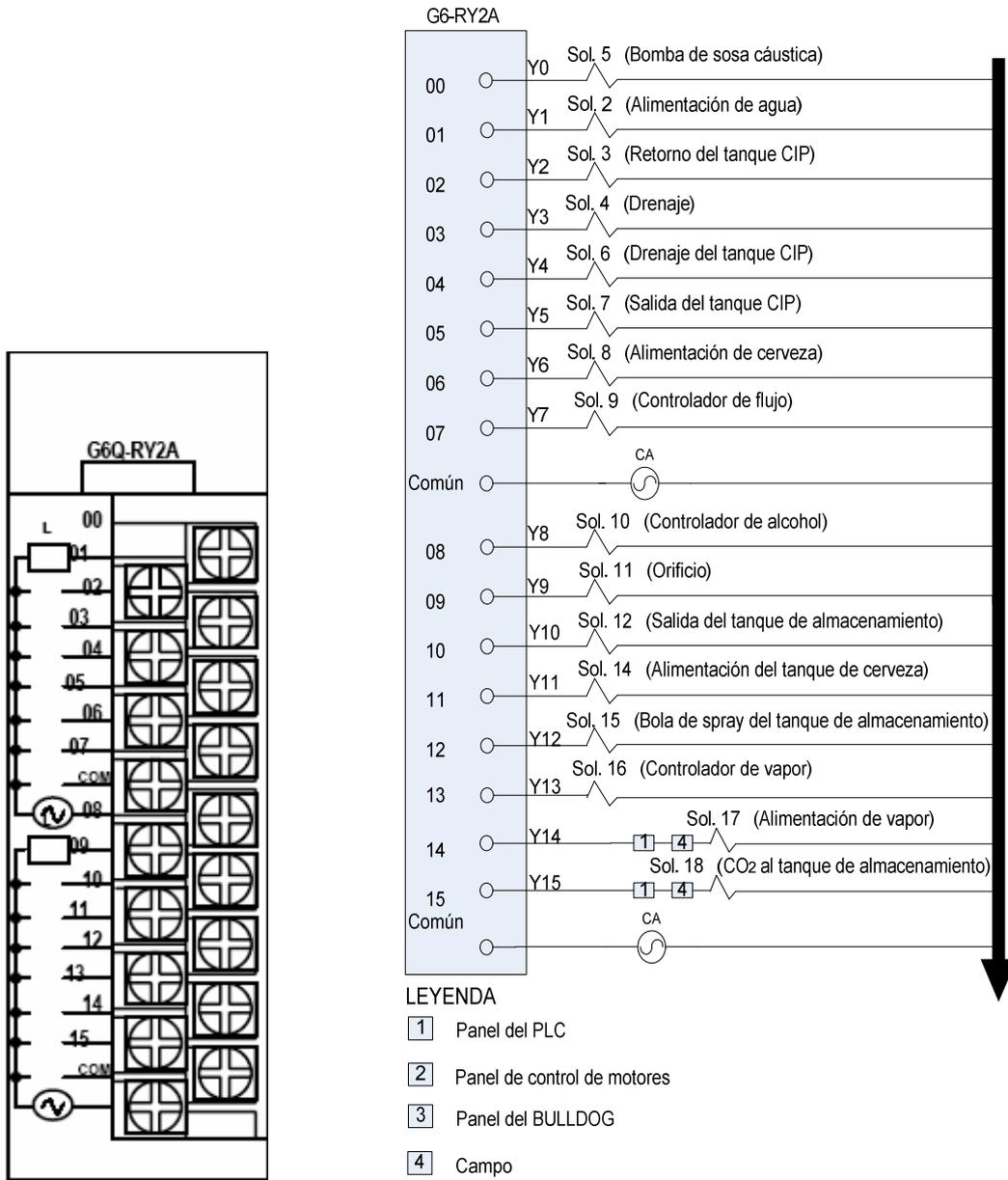


Figura 2.7 Señales de salidas conectadas al módulo digital 1 G6Q-RY2A.

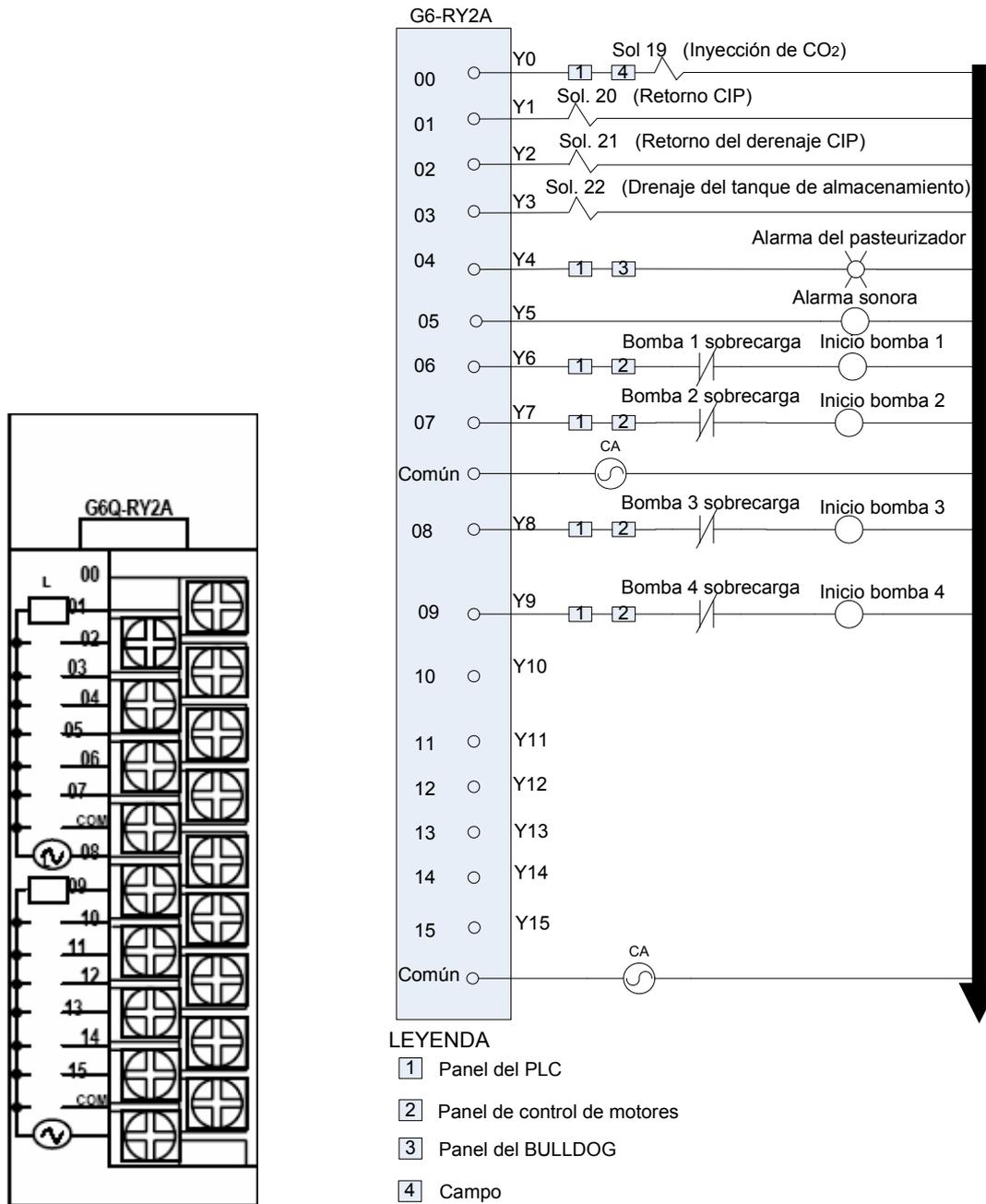


Figura 2.8 Señales de salidas conectadas al módulo digital 2 G6Q-RY2A.

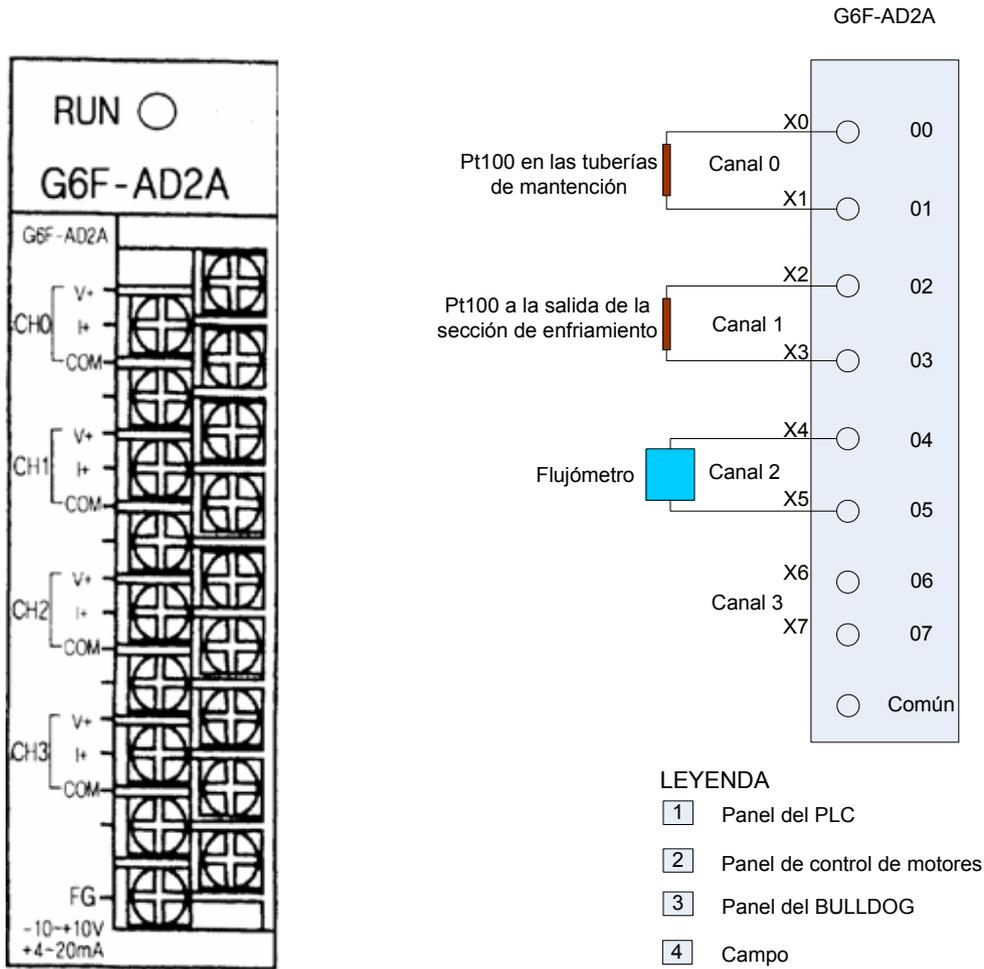


Figura 2.9 Señales de entradas conectadas al módulo analógico G6F-AD2A.

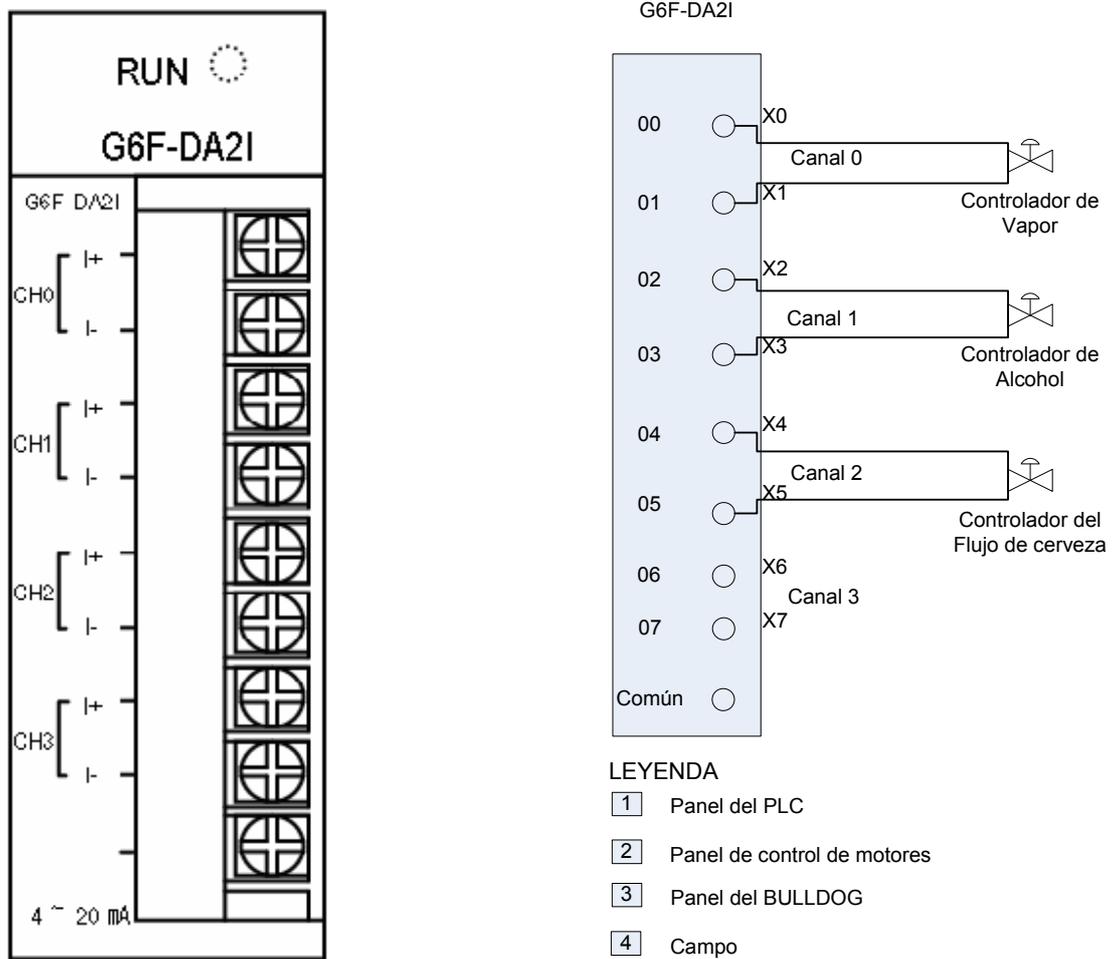


Figura 2.10 Señales de salidas conectadas al módulo analógico G6F-DA21.

Controles Neumáticos

Aire de instrumentación
80-100 PSI

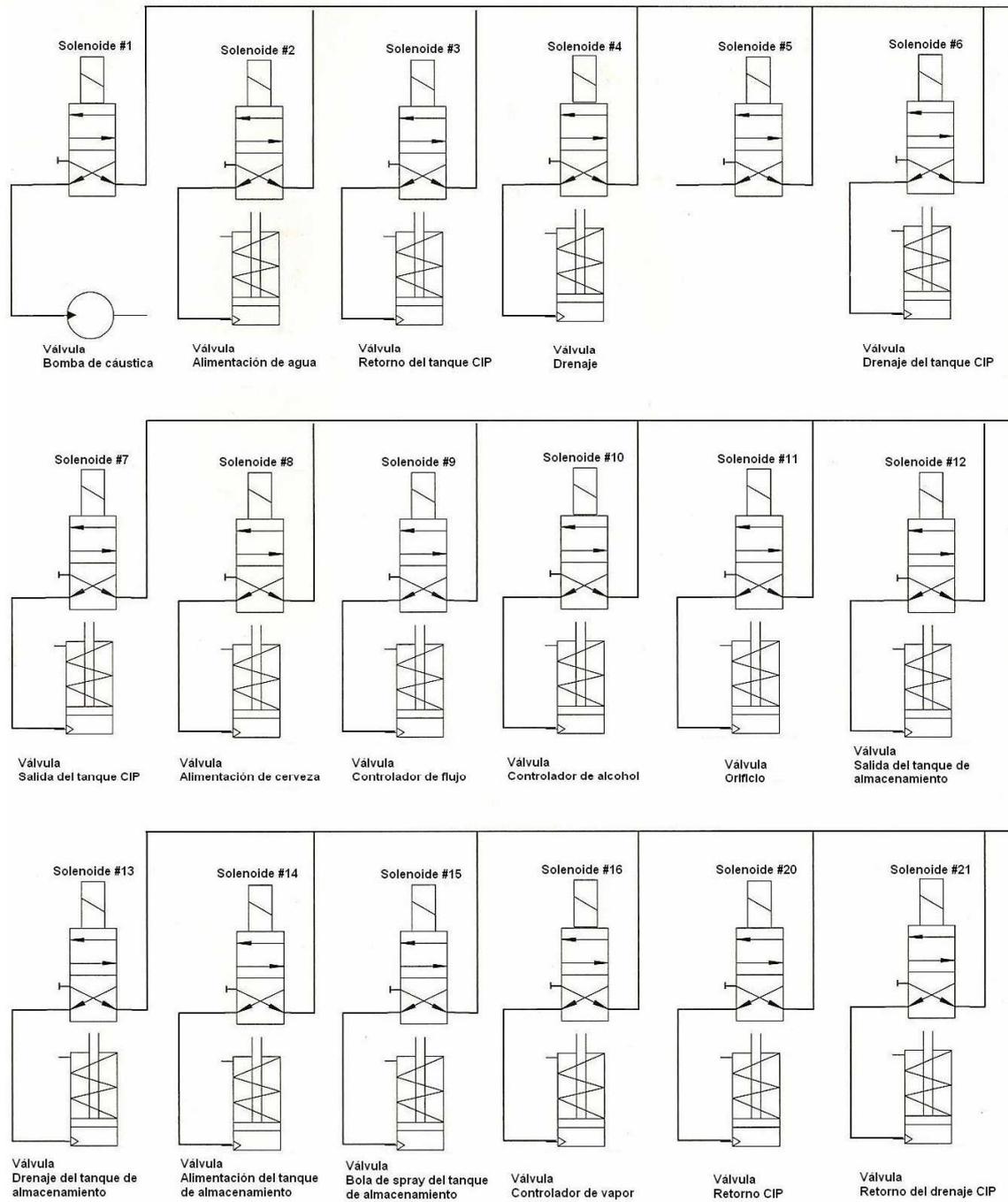
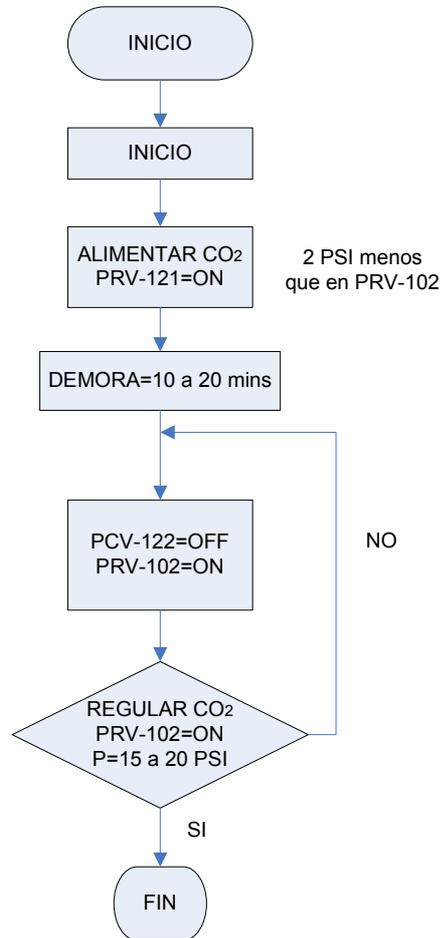
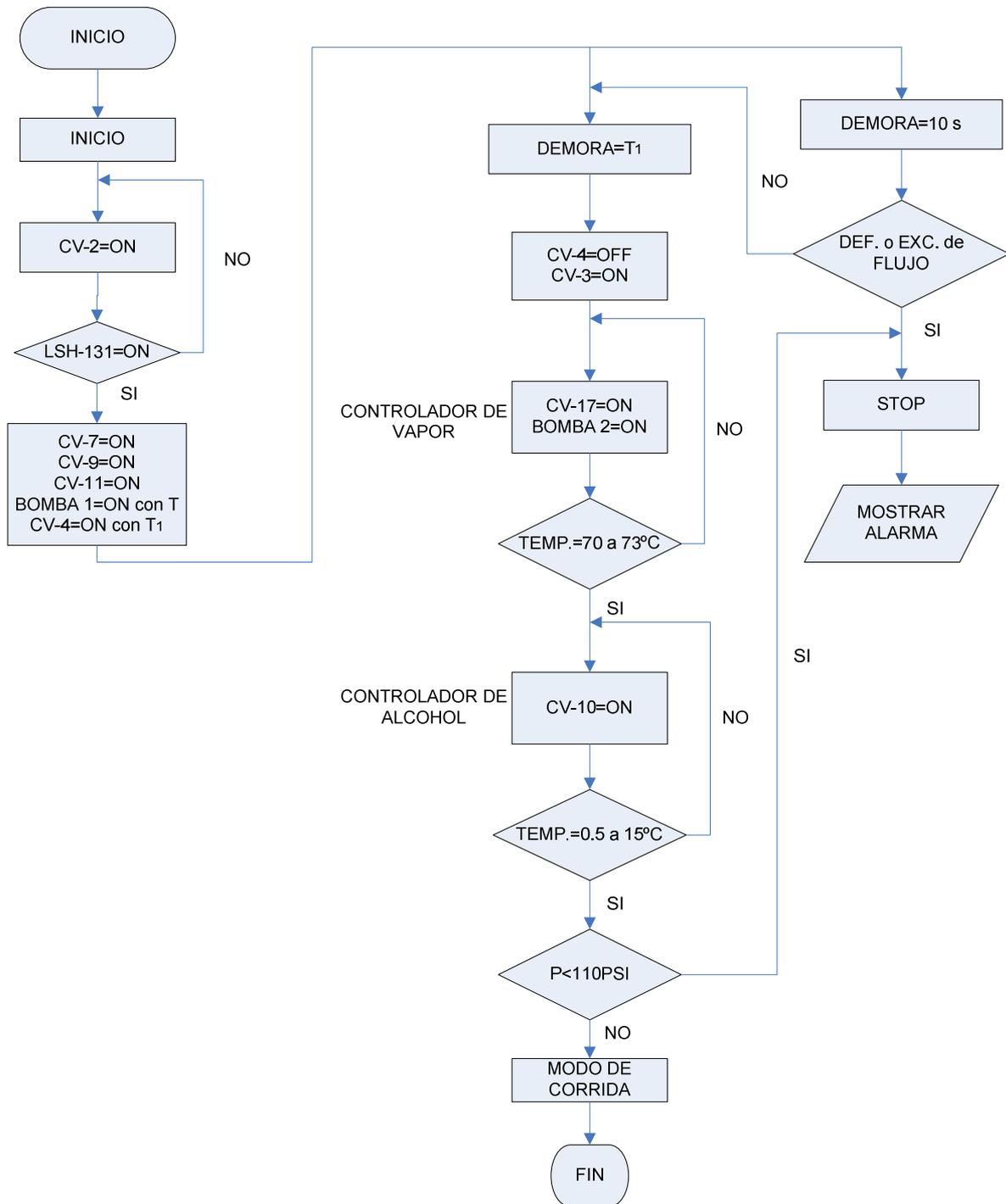


Figura 2.11 Válvulas de control neumático asociado a las señales de salida del proceso.

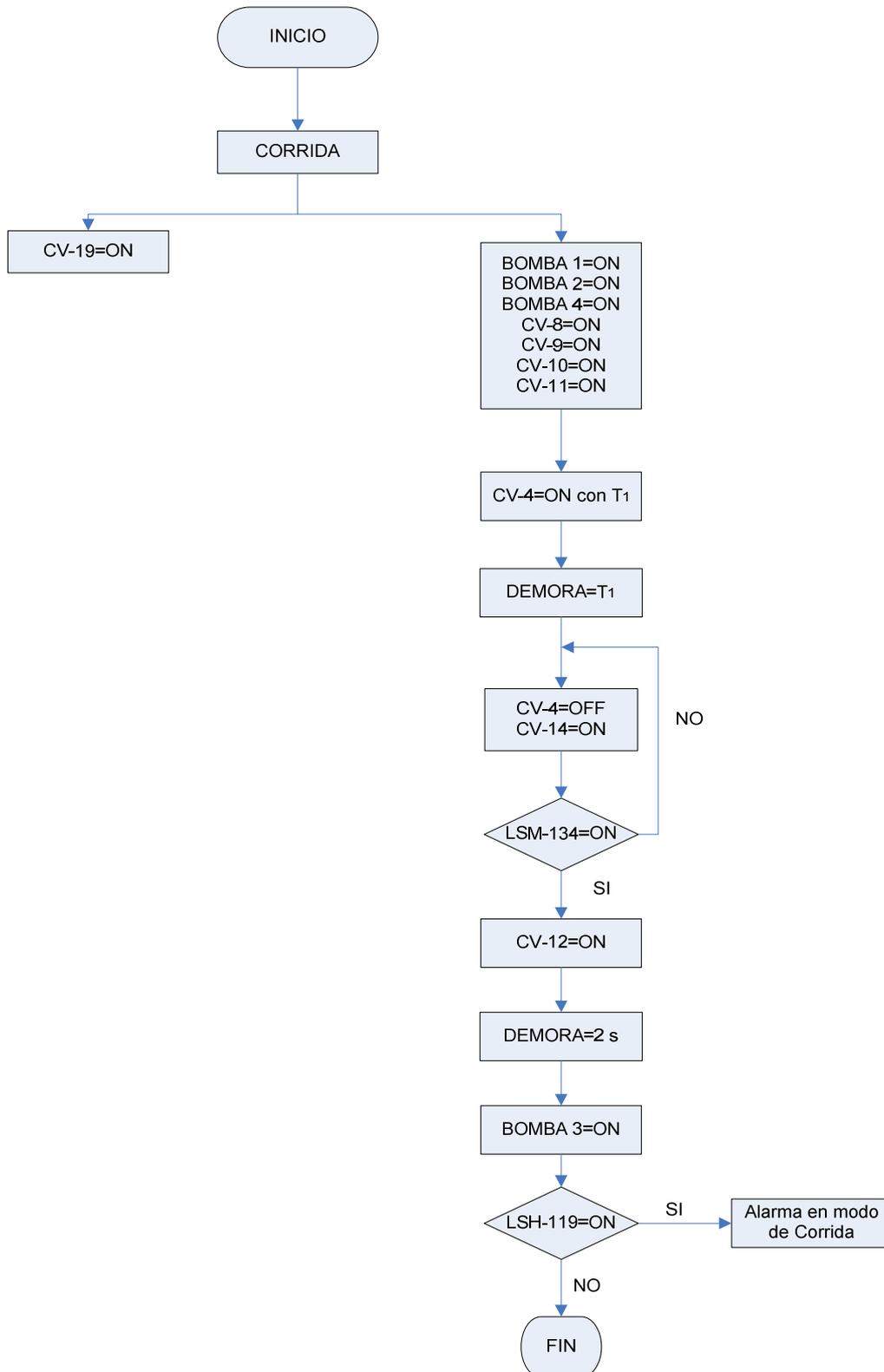
Anexo 2. Organigramas.



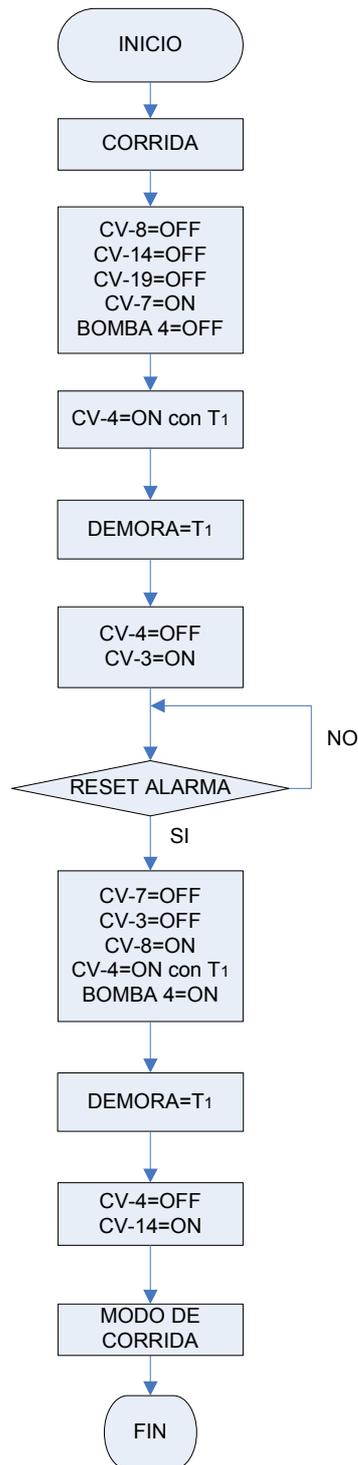
Organigrama 2.1 Modo de Inicio. Purga del tanque de agitación e inicialización de la presurización.



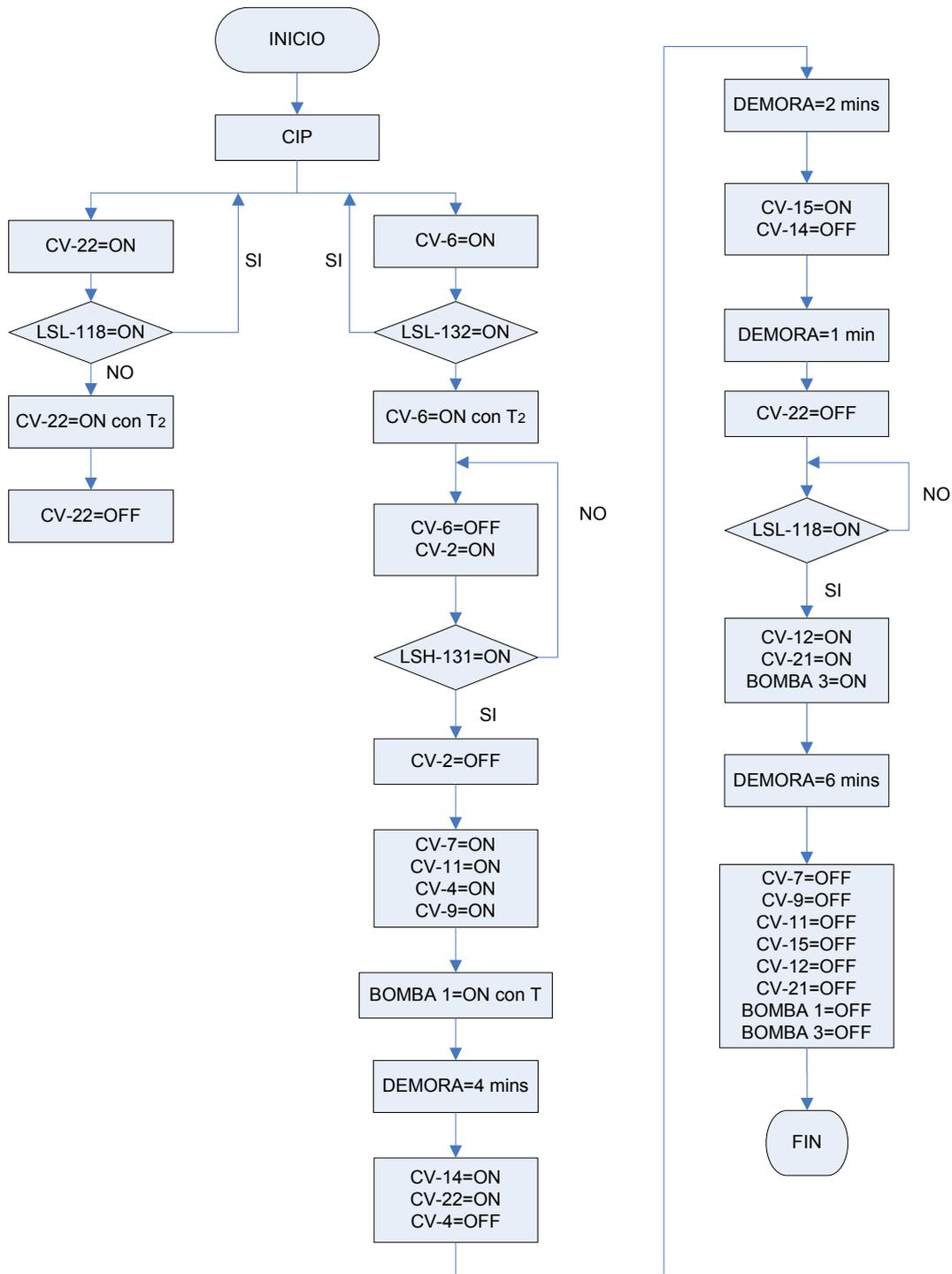
Organigrama 2.2 Modo de Inicio.



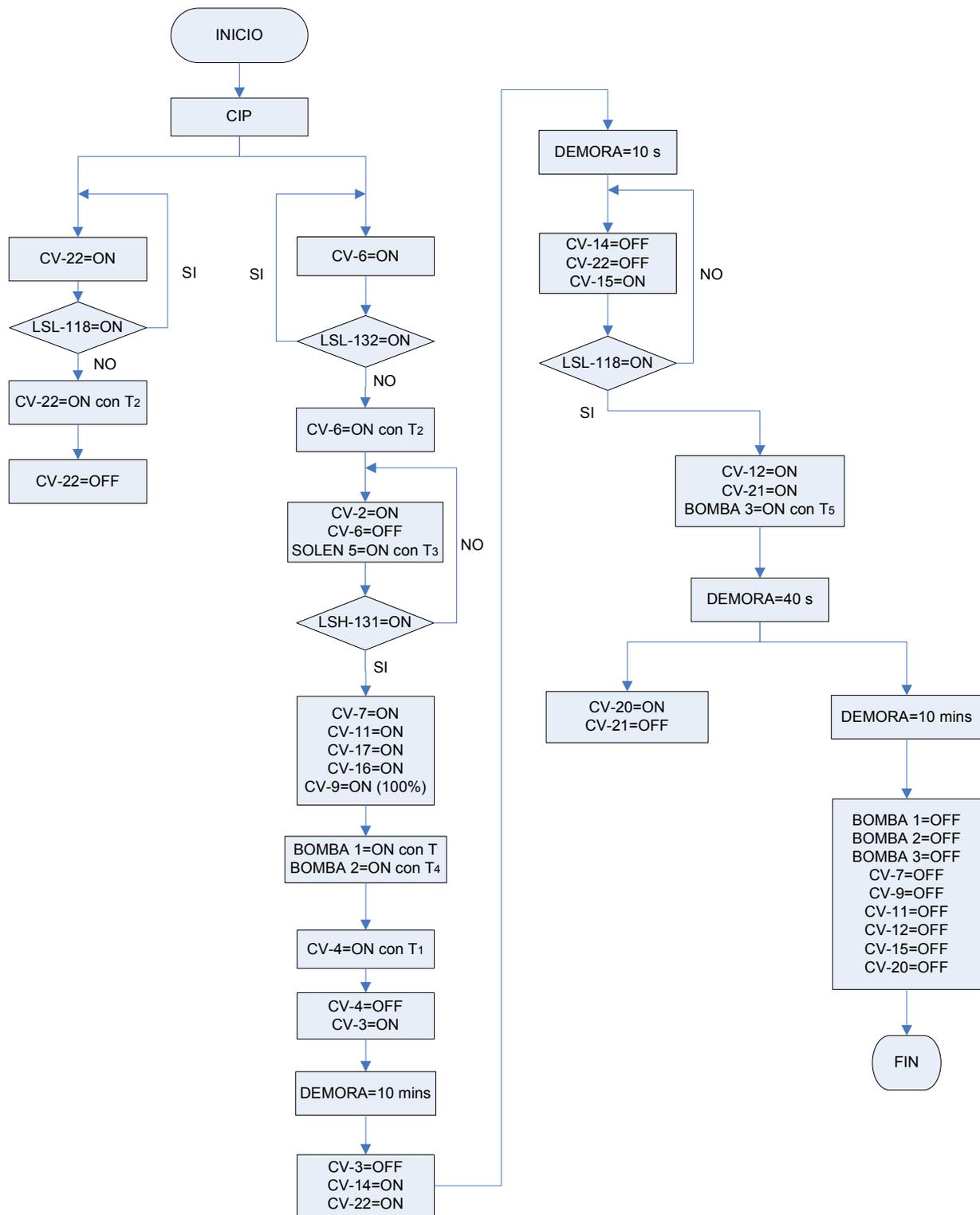
Organigrama 2.3 Modo de Corrida.



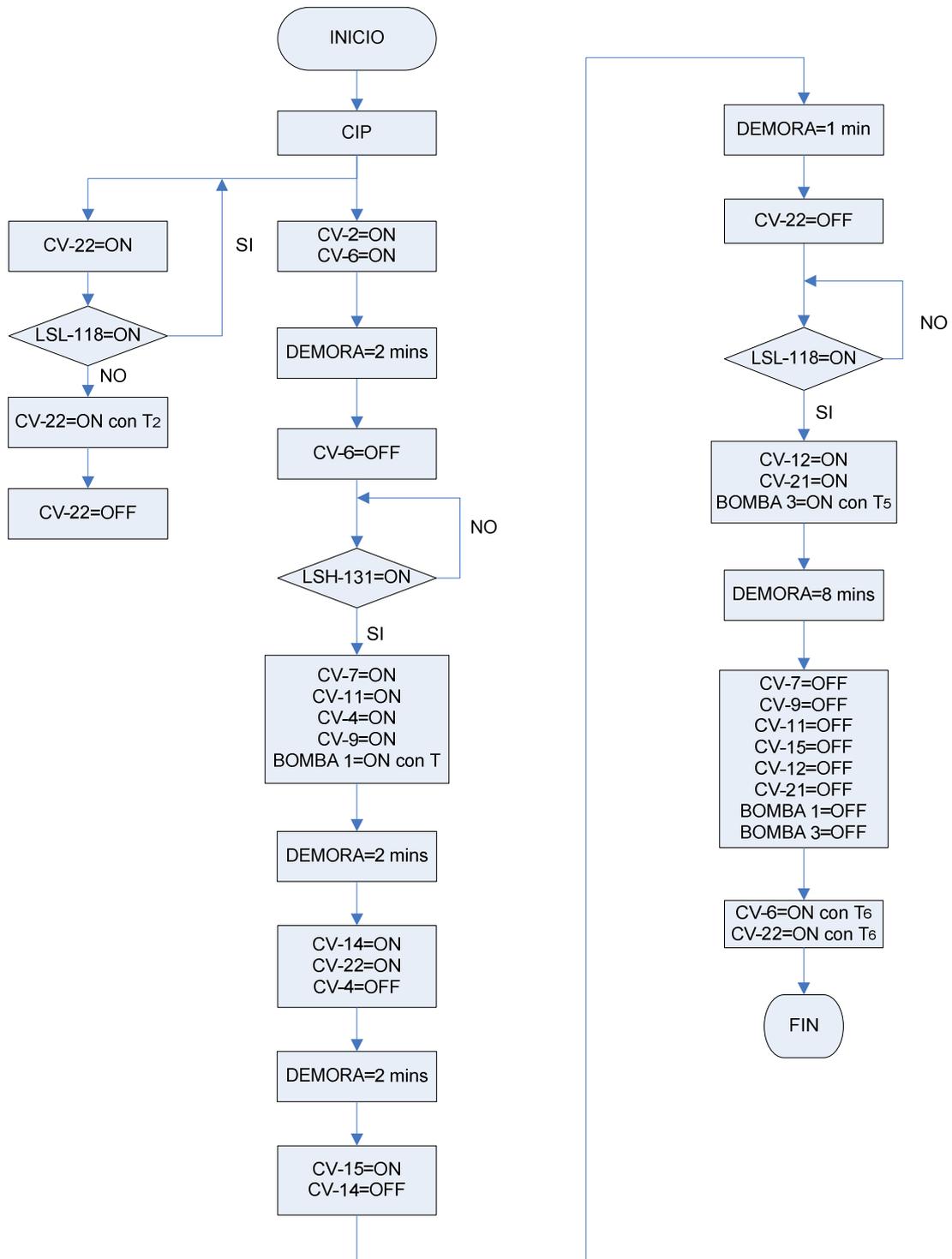
Organigrama 2.4 Tratamiento de Alarmas en Modo de Corrida.



Organigrama 2.5 Primer Lavado del Modo CIP.



Organigrama 2.6 Lavado con Sosa Cáustica del Modo CIP.



Organigrama 2.7 Lavado Final con Agua del Modo CIP.

Anexo 3. Tablas.

Instrumento	Kp (Factor Proporcional)	Referencia
Control de vapor	2.70	71.50
Control de alcohol	1.80	1.50
Control de flujo	0.32	40.00

Tabla 2.1 Configuración de los parámetros para el controlador.

Pérdidas por paro de la producción	En 1 hora (\$)	En el día (\$)
Barril de cerveza de 5.952 cajas	7499,63	59 997
Total de pérdidas	7499,63	59 997

TABLA 2.4 Resultados del análisis Técnico Económico.