

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería en Mecatrónica

**Diseño de automatización del proceso de fabricación de jarabe terminado
en una planta de producción de bebidas carbonatadas**

Trabajo de graduación presentado por

Laura María Roldán Reyes

para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala

2012

**Diseño de automatización del proceso de fabricación de jarabe terminado
en una planta de producción de bebidas carbonatadas**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería en Mecatrónica

**Diseño de automatización del proceso de fabricación de jarabe terminado
en una planta de producción de bebidas carbonatadas**

Trabajo de graduación presentado por


Laura María Roldán Reyes

para optar por el grado académico de licenciada en Ingeniería Mecatrónica


Guatemala


2012

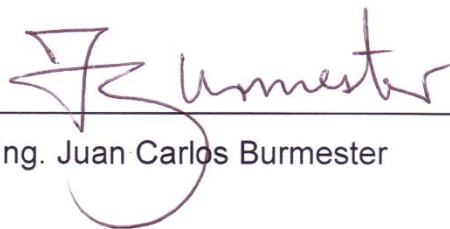
Vo. Bo.:

(f) 
MSc. Carlos Esquit

Tribunal:

(f) 
MSc. Roberto Delgado

(f) 
MSc. Carlos Esquit

(f) 
Ing. Juan Carlos Burmester

Fecha de aprobación: Guatemala 19 de junio de 2012.

PREFACIO

El diseño presentado en este proyecto de graduación surgió de la idea de modificar un proceso ya existente, de manera que este pudiera ser manejado por una cantidad mínima de operadores. Se buscaba que el proceso se asemejara al implementado en plantas homólogas en la región latinoamericana, donde este es manejado por un solo operador. Esta idea se transformó y adaptó de manera que fuera posible aprovechar el equipo ya instalado, generando el resultado posteriormente descrito. Por esta razón, algunos subprocesos continúan siendo manuales.

El presente documento será utilizado como base para realizar una propuesta económica para la aprobación y el financiamiento del proyecto, además de funcionar como una guía para la implementación del mismo.

Quiero agradecer a todas las personas que colaboraron en la realización del diseño: a los Ingenieros Ángelo López y René Cuervo por la oportunidad de realizar el proyecto y la confianza que depositaron en mí; así como a mis asesores, Msc. Roberto Delgado y Msc. Carlos Esquit por la orientación y aportes.

Me gustaría también agradecer a mi familia y amigos por su apoyo y orientación tanto en la elaboración de este proyecto de tesis, como a lo largo de toda la licenciatura.

CONTENIDO

PREFACIO	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. Objetivo general	2
B. Objetivos específicos	2
III. MARCO TEÓRICO	3
A. Medición de sacarosa disuelta en un líquido	3
1. Grados Plato	3
2. Escala Balling	3
3. Grados Brix. Los grados Brix	3
B. Densidad relativa	5
C. Controladores lógicos programables	6
1. Entradas y salidas (E/S)	6
D. Buses de campo	7
1. Profibus (Process Field Bus)	8
2. Periferia descentralizada	8
E. Sensores y transmisores de nivel para líquidos	10

1.	Radioactivo.....	10
2.	Capacitivo.....	10
3.	Ultrasonidos	11
4.	Conductivímetro	11
5.	Radar.....	11
6.	Servoposicionador.....	11
F.	Transductores de presión	12
1.	Medición por membranas.....	12
2.	Dispositivos piezoeléctricos: cambios de cargas.....	12
G.	Sensores y transmisores de temperatura	13
1.	Expansión térmica.....	13
2.	Efecto termoeléctrico.....	13
3.	Cambio resistivo	13
4.	Semiconductores.....	15
H.	Grados de protección IP	15
IV.	DELIMITACIÓN.....	17
A.	Monitoreo y control de variables	17
B.	Selección y descripción de equipo.....	17
C.	Descripción del proceso.....	17
D.	Diagrama de tuberías e instrumentación	17
E.	Diagrama eléctrico.....	18
F.	Diagrama neumático.....	18
V.	METODOLOGÍA	19

VI.	AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE JARABE	20
A.	Variables.....	20
1.	Presión en tanques.....	20
2.	Nivel en tanques.....	20
3.	Temperatura en tanques	21
4.	Volumen contenido en tanque.....	21
5.	Densidad del líquido contenido en los tanques	23
6.	Cantidad de sacarosa por peso.....	24
7.	Flujo de entrega de producto.....	27
B.	Ubicación de sensores en tanques	28
1.	Tanques de producción cilíndricos horizontales.....	28
2.	Tanques de producción cilíndricos verticales	29
3.	Tanques de lavado.....	30
4.	Tanques de limpieza	31
C.	Selección y descripción de equipo	31
1.	Tipo de red de control.....	31
2.	PLC	32
3.	Interfaz con el usuario	33
4.	Transmisores de nivel.	34
5.	Transmisores de presión.....	34
6.	Válvulas de control	35
7.	Bus de campo.	35

8.	Módulos ET200.....	36
D.	Proceso.....	36
1.	Diagrama P&ID	37
2.	Diagramas de flujo	37
E.	Diagrama eléctrico..	43
F.	Diagrama neumático típico.....	44
VII.	ANÁLISIS FODA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.....	46
A.	Fortalezas	46
B.	Oportunidades.....	46
C.	Debilidades	46
D.	Amenazas	46
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
IX.	BIBLIOGRAFÍA	48
X.	APÉNDICE.....	51
A.	Planos de sala de jarabes.....	51
B.	Deducción de ecuaciones para el cálculo de volumen de jarabe contenido en los tanques.	55
1.	Volumen de tanques cilíndricos horizontales	55
2.	Volumen de cilíndricos tanques verticales.....	57
C.	Tabla de temperatura vs. Densidad del agua	59
D.	Tabla de densidad vs. °BRIX.....	62
E.	Diagrama P&ID	71
F.	Diagramas de flujo	73

G.	Listado y clasificación de señales	83
H.	Cuantificación de equipo	96
I.	Organización de válvulas de esquina y paso	106
J.	Interpretación de codificación de nomenclatura de variables en diagrama P&ID y para módulos de conexión.	108
1.	Equipos	108
2.	Códigos de error.....	109
3.	Temporizadores	110
4.	Banderas	111
5.	Indicadores de señales manuales	112
6.	Valores de referencia	112
7.	Variables	113
K.	Mapa de la red de control	114
L.	Cálculo de tiempo mínimo de producción y entrega de un lote de producción.....	115

LISTA DE TABLAS

1. Valores de densidad para el agua entre 10 y 85 °C con valor de densidad calculado con regresión lineal y porcentaje de error.....	59
2. Valores de Porcentaje de sacarosa por peso (°BRIX) con respecto a la gravedad específica según La circular C440 del Departamento Nacional de Estándares de los Estados Unidos.....	62
3. Organización de red de control.....	83
4. Válvulas de control con su respectivo submódulo de conexión.....	90
5. Listado de módulos ET200.....	96
6. Listado de sub módulos ET200.....	96
7. Listado de válvulas de control.....	97
8. Listado de transductores.....	99
9. Listado de tanques.....	100
10. Listado de motores con sus respectivos contactores.....	100
11. Listado de válvulas neumáticas 5/3.....	101
12. Listado de actuadores neumáticos.....	103
13. Accionamiento de válvulas para rutas de fluido.....	106
14. Valores de interés para cálculo de tiempo mínimo de producción y entrega de un lote de roducción.....	115
15. Flujo de jarabe en líneas de producción.....	116
16. Tiempos totales esperados para la producción de jarabe empleando los tanques de producción a un 70% de su capacidad y a una velocidad de llenado de 80 galones por minuto.....	117

LISTA DE FIGURAS

1. Principio de funcionamiento de los sensores de nivel radioactivos.....	11
2. Respuesta de tipos de termocoplas.....	14
3. Respuesta de tipos de termocoplas.....	14
4. Respuesta de un termistor	15
5. Grados de protección IP	16
6. Ubicación de parámetros en taques cilíndricos horizontales	23
7. Ubicación de parámetros en taques cilíndricos verticales.	25
8. Regresión lineal del valor de densidad del agua con respecto a la temperatura del tanque.....	25
9. Regresión del valor de densidad del agua con respecto a la densidad relativa de la disolución según NB.....	26
10. Porcentaje de error de la regresión lineal del valor de densidad del agua con respecto a la densidad relativa de la disolución según NBS.....	27
11. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos horizontales.....	29
12. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos verticales.....	29
13. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos de concentrados.....	30
14. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos de limpieza.....	31
15. Diagrama eléctrico.....	43
16. Diagrama neumático típico por tanque.....	45
17. Dimensiones de tanques en sala de jarabe terminado.....	52
18. Ubicación de tanques de sala de jarabe terminado.....	54
19. Ubicación de parámetros en taques cilíndricos horizontales.....	55

20. Ubicación de parámetros en taques cilíndricos verticales.....	57
21. Diagrama P&ID del proceso automatizado.....	71
22. Operación automatizada de la sala de jarabes.....	74
23. Entrega de jarabe terminado desde tanque TK-[N] a línea de llenado L[J].....	75
24. Selección de tanque TK-[N] para la producción de jarabe.	76
25. Preparación para producción de jarabe terminado en TK-[N]	77
26. Selección de tanque TK-[M] para la producción de concentrado.....	78
27. Producción de jarabe terminado en tanque TK-[N], parte 1.....	79
28. Producción de jarabe terminado en tanque TK-[N], parte 2	80
29. Lavado de tanques de producción.....	81
30. Lavado de líneas.....	82
31. Diagrama de módulos y submódulos de red de control.....	114

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de la automatización del proceso de fabricación de jarabe terminado utilizado en las líneas de producción de bebidas carbonatadas. El diseño se basa en una planta en la cual ya se tiene instalado y en funcionamiento el equipo para la producción manual del jarabe.

Se busca un diseño funcional con el cual se minimicen los errores humanos en la producción de jarabe terminado. Se pretende optimizar el uso del recurso humano, tanques, equipo y líneas de producción a las cuales es entregado el jarabe terminado. Este deberá ser flexible para poder expandir o modificar el proceso una vez implementada la automatización. Dentro del diseño se incluirán diagramas P&ID, neumáticos, de cableado de señales, de flujo y eléctrico. Se presentarán también las características requeridas en el equipo e instrumentación y tabla de conversión para el monitoreo de variables importantes.

Este proyecto se utilizará para elaborar y aprobar un presupuesto y posteriormente se empleará como una guía para la implementación de la automatización de la sala de producción de jarabe terminado.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de bebidas carbonatadas requiere de la fabricación de una solución concentrada de agua, azúcar y otros componentes para posteriormente ser diluido e inyectado con gas para generar el producto final. El proceso de fabricación de este jarabe concentrado; conocido como jarabe terminado; requiere de subprocesos de fabricación de concentrados, entrega del producto final, preparación de tanques y lavado de los mismos.

En el presente documento se plantea un diseño de la automatización del proceso de fabricación del jarabe terminado empleado en la producción de bebidas carbonatadas. En éste se incluyen descripciones del proceso, componentes, equipos y variables necesarios para la operación automática. Se presentan diagramas que representan de forma gráfica la organización de los equipos y las conexiones entre ellos. Se describen también los tipos de equipos que deben utilizarse para que el proceso funcione adecuadamente.

Con la realización e este proyecto se buscó realizar un diseño general de la automatización del proceso de la fabricación de jarabe terminado, empleando los equipos ya existentes para la elaboración manual del producto y agregando sensores, actuadores, procesadores, entre otros; para su funcionamiento con una mínima intervención humana.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

1. Realizar el diseño general de la automatización del proceso de fabricación de jarabe terminado en una planta de producción de bebidas carbonatadas.

B. Objetivos específicos

1. Dividir el proceso de fabricación de jarabe terminado en una serie de pasos lógicos y ordenados para que este pueda ser ejecutado de forma cíclica y eficiente.
2. Identificar variables a medir y monitorear para que el proceso pueda ejecutarse con un mínimo de intervención humana.
3. Describir las características de equipos y sensores a utilizar en la automatización de la sala de jarabes.
4. Realizar un diagrama P&ID en donde se muestre la interconexión física de los dispositivos empleados.
5. Realizar un diagrama neumático para la operación de la automatización de la sala de jarabes.
6. Realizar el diagrama eléctrico de la sala de jarabes automatizada.
7. Seleccionar un controlador lógico programable que cumpla con las características necesarias para el diseño de automatización.
8. Efectuar un análisis FODA para evaluar la posibilidad de implementación del proyecto de automatización de la sala de una fábrica de bebidas carbonatadas.

III.MARCO TEÓRICO

A. Medición de sacarosa disuelta en un líquido

Se denomina azúcar a aquellos carbohidratos que son fácilmente solubles en agua, son incoloros, inodoros y normalmente cristalizables. Estos cumplen con la característica de tener un sabor dulce. Los azúcares importantes son la glucosa, lactosa, maltosa y la sacarosa (azúcar de caña). La sacarosa tiene muchas aplicaciones como endulzante en la fabricación de confites, pasteles, conservas, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, y muchos otros alimentos. Como material alimenticio básico, la sacarosa suministra aproximadamente un 13% de la energía que se deriva de los alimentos. [15]

En la producción de bebidas carbonatadas, uno de los endulzantes más comunes es la sacarosa. Para cuantificar la cantidad de azúcar en una disolución se utilizan varias escalas: escala Plato, escala Balling y grados Brix.

1. Grados Plato. En Alemania y Estados Unidos es la escala que representa la cantidad de soluto en una solución. $1\% \text{ Plato} = 0.004 \text{ g/cm}^3$. Tiene aplicaciones en la producción de cerveza. [1]

2. Escala Balling. Antigua escala de medición de densidad de un líquido y la relación con el contenido de azúcar en solución, hoy en día es ampliamente utilizada en la industria vinícola. [1]

3. Grados Brix. Los grados Brix (símbolo °Bx) miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido; este puede medirse con un sacarímetro, que mide la gravedad específica de un líquido, o, más fácilmente, con un refractómetro. La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar. [15]

El Departamento Nacional de Estándares de los Estados Unidos (NBS por sus siglas en inglés) cuenta con una circular con valores de porcentaje de sacarosa por peso ($^{\circ}$ BRIX) con respecto a la gravedad específica de un fluido con contenido de sacarosa, esta información está disponible en la circular C440 del mismo. [7]

a. Refractómetros. Un refractómetro de mano es un dispositivo óptico que toma ventaja del hecho de que la luz que pasa a través de un líquido se dobla o refracta. Sólidos disueltos en un líquido harán que se presenten un índice de refracción en relación directa con la cantidad de sólidos, el valor arrojado por este tipo de sensores es muy exacto. [8]

b. Sacarímetros. El Sacarímetro es un dispositivo para medir la rotación del plano de polarización de los líquidos. La luz polarizada producida por el prisma de Nicol¹ viaja a través de una celda de vidrio y un segundo prisma Nicol en la parte izquierda se gira hasta que la luz (por lo general la luz amarilla de una lámpara de sodio) se extingue. La muestra de líquido se coloca en la célula, y se identifica el giro necesario que es aplicarle a la muestra para conseguir la extinción del haz de luz. Este ángulo es una función lineal de la

¹ Prisma Nicol: Dispositivo usado para reflejar la luz o descomponerla (dispersarla) en sus colores espectrales constituyentes, tradicionalmente construido en la forma de un prisma recto con una base triangular. Puede ser usado para producir y detectar la luz polarizada. El prisma se coloca frente a la fuente de luz y es rotado. Si la fuente de luz es plana polarizada, la luz que se ve a través del prisma varía en intensidad y nada pasa a través del prisma en cierta posición y el brillo del camino.[19]

concentración de la muestra y es de esta forma que puede obtenerse una lectura de la concentración de sacarina disuelta. [18]

B. Densidad relativa

La densidad (ρ) o densidad absoluta, se define como la masa por unidad de volumen, que es igual al cociente entre la masa de un cuerpo (kg) y su volumen (m^3), sus unidades dimensionales son kg/m^3 en el Sistema Internacional de Unidades. [7]

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{m}{V} \quad [B-1]$$

En los líquidos el volumen varía mucho con la temperatura y poco con la presión, y lo mismo ocurre con su densidad. Cuando aumenta la temperatura aumenta el volumen y, si no varía la masa, disminuye el valor de la densidad. Por ello en las tablas de densidades debe especificarse la temperatura a la que se determinó cada valor de densidad del líquido. [12]

Un concepto relacionado con el de densidad es el de densidad relativa que se define como el cociente entre la densidad de un cuerpo y la de otro que se toma como unidad, siempre y cuando ambas densidades se expresen en las mismas unidades y en iguales condiciones de temperatura y presión. El valor de la densidad relativa de un cuerpo suele tomarse con respecto a la densidad del agua.

$$\rho_{relativa} = \frac{\rho \text{ a } T^{\circ}C}{\rho_{agua} \text{ a } T^{\circ}C} \quad [B-2]$$

Donde

- $\rho \text{ a } T^{\circ}C$ es la densidad del cuerpo que se desea obtener la densidad relativa a una temperatura determinada T .
- $\rho_{agua} \text{ a } T^{\circ}C$ es la densidad del agua destilada a la misma temperatura T .

C. Controladores lógicos programables

Un Controlador lógico programable (PLC) se puede definir como un sistema basado en un microprocesador. Sus partes fundamentales son:

- Unidad Central de Proceso (CPU)
- Memoria
- Sistema de Entradas y Salidas (E/S)

La CPU se encarga de todo el control interno y externo del PLC y de la interpretación de las instrucciones del programa. En base a las instrucciones almacenadas en la memoria y en los datos que lee de las entradas, genera las señales de las salidas. La memoria se divide en dos, la memoria de solo lectura o ROM y la memoria de lectura y escritura o RAM. [5]

La memoria ROM almacena programas para el buen funcionamiento del sistema; mientras que la memoria RAM está conformada por la memoria de datos, en la que se almacena la información de las entradas y salidas y de variables internas y por la memoria de usuario, en la que se almacena el programa que maneja la lógica del PLC. [5]

El sistema de entradas y salidas recopila la información del proceso (entradas) y genera las acciones de control del mismo (salidas). Los dispositivos conectados a las entradas pueden ser pulsadores, interruptores, finales de carrera, termostatos, detectores de nivel, detectores de proximidad, contactos auxiliares, etc. Al igual, los dispositivos de salida son también muy variados: Pilotos, relés, contactores, drives o variadores de frecuencia, válvulas, etc. [5]

1. Entradas y salidas (E/S) - Inputs and Outputs (IO). Las entradas y salidas (E/S) de un PLC son digitales, analógicas o especiales. Las E/S digitales se identifican por presentar dos estados diferentes: encendido o apagado, presencia o ausencia de tensión, contacto abierto o cerrado, etc. Los niveles de

tensión de las entradas más comunes son 5 VDC, 24 VDC, 48 VDC y 220 VAC. Los dispositivos de salida más frecuentes son los relés. [5]

Las E/S análogas se encargan de convertir una magnitud analógica (tensión o corriente) equivalente a una magnitud física (temperatura, flujo, presión, etc.) en una expresión binaria. Esto se realiza mediante conversores analógico-digitales (ADC's). Por último, las E/S especiales se utilizan en procesos en los que con las anteriores E/S vistas son poco efectivas, bien porque es necesario un gran número de elementos adicionales o porque el programa necesita de muchas instrucciones o por protocolos especiales de comunicación que se necesitan para poder obtener el dato requerido por el PLC (HART, Salidas de trenes de impulso, motores paso a paso). [5]

D. Buses de campo

Los buses de campo son tecnologías de comunicación y protocolos utilizados en automatización y control de procesos industriales. La función del bus es comunicar los sensores y actuadores con sistemas controladores como los PLCs y computadoras. [24]

El bus de campo debe cumplir con los requerimientos de modularidad, seguridad, flexibilidad, resistencia a interferencias, facilidad de instalación, mantenimiento y programación. [24]

Algunos sistemas utilizados actualmente en la industria son:

- Profibus DP.
- Modbus Plus.
- FIPIO SINEC.
- Omron Sysmac.
- Profibus FMS.
- Allen-Bradley Remote I/O.
- DeviceNet.

- AS-I.
- FIP.
- Smart Distributed System.

1. Profibus (Process Field Bus). Es un estándar abierto e independiente de origen alemán, impulsado por SIEMENS. Es actualmente el líder de los sistemas basados en buses de campo en Europa y goza de una aceptación mundial (20% del mercado en 1999), además es compatible con interfaces de equipos de tecnología de automatización de fabricantes líderes a nivel mundial. Este se encuentra definido en los estándares EN 50170 e IEC 61158. [24]

a. Características del sistema

- Transmite pequeñas cantidades de datos.
- Cubre necesidades de tiempo real.
- Número de estaciones máximo de 32, pueden ser 127 si se colocan repetidores.
- De fácil configuración: Plug & Play.
- Bajo coste de conexión y cableado.
- Permite la integración de dispositivos inteligentes y dispositivos sencillos.
- Propone dos tipos de estaciones: Maestras(activas) y Esclavas (pasivas)
- Utiliza una topología de la red en bus lineal o árbol con terminadores.
- Transmisión serial sobre distintos medios, generalmente se usa RS-485.

b. Perfiles. Estos definen las propiedades específicas y comportamiento de dispositivos, familias de dispositivos o sistemas completos. Estos pueden ser de dos tipos:

- Perfiles de aplicación: son aplicados a dispositivos.
- Perfiles de sistema: describen clases de sistemas.

2. Periferia descentralizada. En el mundo industrial, ocurre con frecuencia que el PLC de control está colocado a una distancia tal que, el llevar todos los

cables de las entradas y salidas hasta los órganos de control y accionamiento de la máquina, exigirían un mazo de cables de unas proporciones elevadas, con los consiguientes problemas de tendido de los mismos, espacio, pérdidas de señal, costo económico de material y colocación, etc. Para evitar estos problemas, los fabricantes de PLCs y otros componentes industriales, proporcionan dentro de su gama de productos, la posibilidad de enlazar el PLC y los elementos de la máquina mediante un bus de datos, el cual con sólo dos o cuatro hilos (según el tipo de bus), transmite la información de forma rápida y eficaz. [25]

Para emplear este tipo de buses es necesario colocar módulos que centralicen la conexión de todos los controles y accionamientos, que enlace (mediante el bus) con el PLC y que procese la información recibida para transmitirla al PLC. Estos módulos pueden ser de entradas/salidas descentralizadas, válvulas inteligentes o elementos similares.

Actualmente existen productos adaptados a todas las necesidades: entradas y salidas digitales y analógicas, temporizadores, contadores, etc. Incluso existen productos dotados de CPU propia, mediante la cual pueden ser maestros de otros módulos de E/S descentralizada. Dependiendo del fabricante, se pueden incluir en todo tipo de redes (Profibus, DeviceNet, etc.) [17]

La conexión a los sistemas de bus PROFIBUS o PROFINET, se realiza a través de diversos módulos de interfaz. Los módulos de interfaz con CPU integrada reúnen la potencia de cálculo de una CPU S7-300 directamente en el equipo periférico. Por lo tanto, alivian la carga del controlador central y del bus de campo y permiten una rápida reacción a señales a tiempo crítico. [17]

Un sistema ampliamente utilizado en la industria para este tipo de aplicaciones es el SIMATIC ET 200, el cual ofrece diversas configuraciones de periferia descentralizada (E/S distribuidas).

Existen distintos tipos de módulos adicionales: E/S digitales y analógicas, módulos inteligentes con funcionalidad CPU, funciones de seguridad, arrancadores de motores, neumática, convertidores de frecuencia así como diferentes módulos tecnológicos para tareas como contaje y posicionamiento. [17]

Este tipo de sistemas permiten la conexión de sensores y actuadores a un solo sistema de bus, evitando exceso de cables, así como la incorporación a la red de control de una cantidad de dispositivos soportados por el sistema de bus por sí mismo. [17]

E. Sensores y transmisores de nivel para líquidos

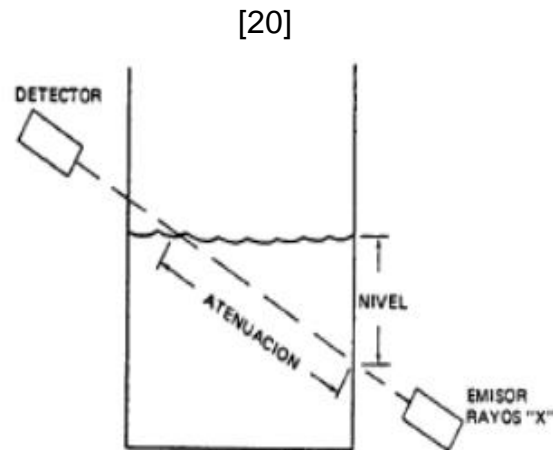
Algunos tipos comunes de transmisores de nivel son los siguientes:

1. Radioactivo. Consiste en un emisor de rayos X, montado a un costado del depósito y con un detector que transforma la radiación recibida en una señal eléctrica de corriente continua (como se muestra en la Figura 1). Debido a que la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del fluido en el depósito, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del fluido ya que el material absorbe parte de la energía emitida. [20]

2. Capacitivo. Estos sensores se basan en medir la variación de capacitancia de un condensador conforme varía el medio dieléctrico entre sus placas. Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. [20]

Los sensores de nivel capacitivos se ven afectados por su temperatura, ya que esta variable modifica la constante dieléctrica del fluido. [20]

Figura 1. Principio de funcionamiento de los sensores de nivel radioactivos



3. Ultrasonidos. Los medidores por ultrasonidos se basan en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del depósito. El tiempo de respuesta depende de la temperatura, por lo que esta debe ser compensada por software. [20]

4. Conductivímetro. Consta de una sonda con uno o más electrodos que al entrar en contacto con el líquido conductor se cierra un circuito eléctrico, que conmutan un contacto. Se utilizan como interruptores de nivel en recipientes de líquidos conductores. [20]

5. Radar. Impulsos de microondas extremadamente cortos son enviados por el sistema de antenas sobre el producto a medir, siendo reflejados por la superficie del producto y captados nuevamente por la antena. Se propagan a la velocidad de la luz y el tiempo desde la emisión hasta la recepción de las señales es proporcional al nivel en el depósito. [20]

6. Servoposicionador. Mide de forma continua la tensión de un hilo del que pende un contrapeso en forma de disco, el sistema está en equilibrio cuando el contrapeso tiene un ligero contacto con el líquido. Al cambiar el nivel del líquido,

varía la tensión del hilo. Esto es detectado por un servoposicionador que tiende a restituir el equilibrio de tensiones subiendo o bajando el contrapeso. [20]

F. Transductores de presión

Para la medición de presión, los sensores pueden clasificarse en dos grandes categorías: medición por membranas y por dispositivos piezoelectrónicos. [11]

1. Medición por membranas. Funciona con cambios resistivos o capacitivos. Dentro de este grupo se encuentran las galgas extensiométricas y los diafragmas capacitivos. [11]

a. Galgas extensiométricas. Son dispositivos que experimentan un cambio resistivo cuando son sometidos a presión o tensión. La resistencia depende de la deformación que sufre el dispositivo. [11]

b. Diafragmas capacitivos. Consisten de dos placas conductoras y un dieléctrico. A medida que aumenta la presión, las placas tienden a apartarse, cambiando su capacitancia. El fluido que está midiendo, sirve de dieléctrico. [11]

2. Dispositivos piezoeléctricos: cambios de cargas. El sensor de presión piezorresistivo tiene un elemento de medición en forma de placa con resistencias obtenidas por difusión o implantación de iones. Si estas placas se someten a una carga, cambia su resistencia eléctrica. Este tipo de sensores son muy sensibles a vibraciones y ruidos. [13]

G. Sensores y transmisores de temperatura

Los instrumentos de medición de temperatura se clasifican de acuerdo a su principio de operación:

- Expansión térmica
- Efecto termoeléctrico
- Cambio resistivo
- Dispositivos semiconductores
- Radiación

1. Expansión térmica. Dentro de estos tipos de instrumentos se encuentran los tubos capilares con un líquido termométrico que se contrae y expande dependiendo de la temperatura. [9]

2. Efecto termoeléctrico. El principio físico que rige estos instrumentos, también conocidos como termocoplas, se basa en dos materiales con diferentes densidades de electrones libres que generan una fuerza electromotriz cuando son conectados entre sí (efecto Seebeck). Esta fuerza electromotriz es directamente proporcional a la temperatura de la junta. Este es el método más común para la medición de temperatura debido a su simplicidad y amplio rango de funcionamiento. [9]

Estas pueden ser de distintos tipos dependiendo de los materiales de las que se encuentran hechas las capas, esto causa variaciones en los rangos de operación, linealidad y exactitud en los mismos. En la Figura 1 puede observarse el comportamiento de los distintos tipos de termocoplas en rangos de temperatura desde -300°C hasta casi 1800°C . [9]

3. Cambio resistivo. Los RTD's (por las siglas en inglés de resistance temperature detectors) se basan en la variación de resistencia eléctrica de los metales con cambios de temperatura. En la Figura 3 se puede observar el comportamiento de dos RTD's de distintos materiales. [9]

Figura 2. Respuesta de tipos de termocoplas [9]

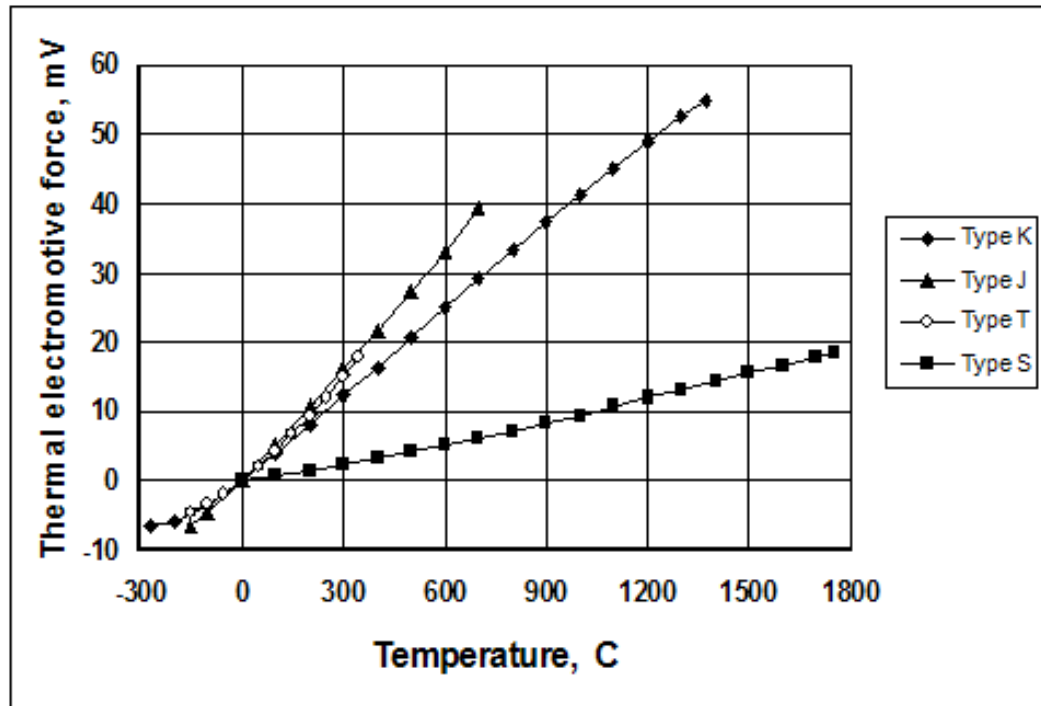
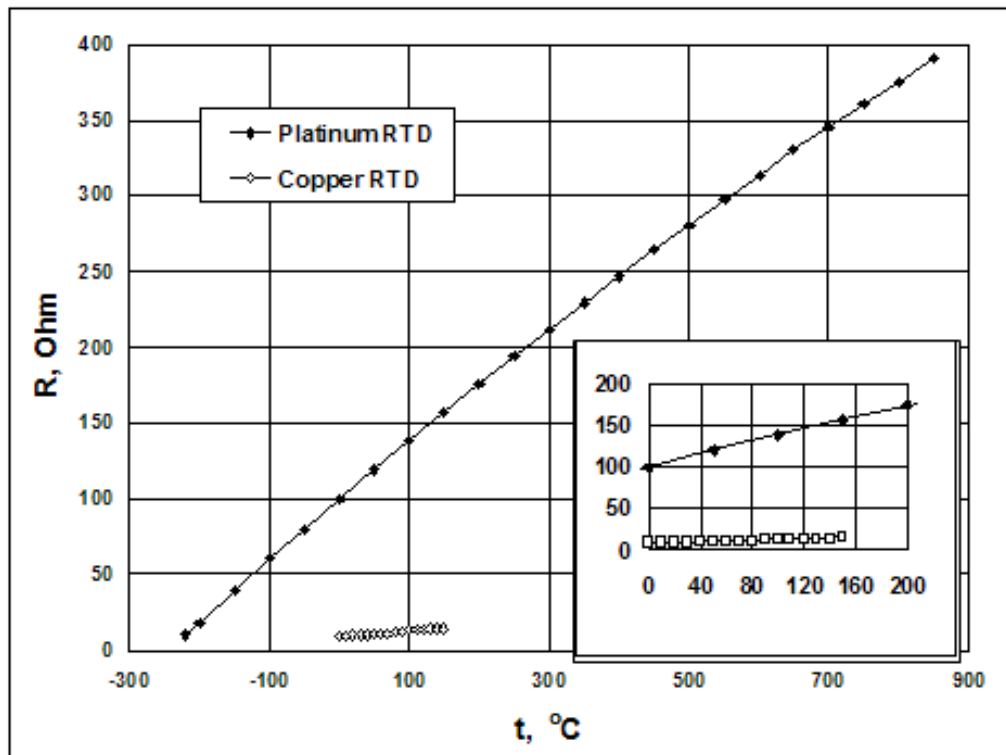
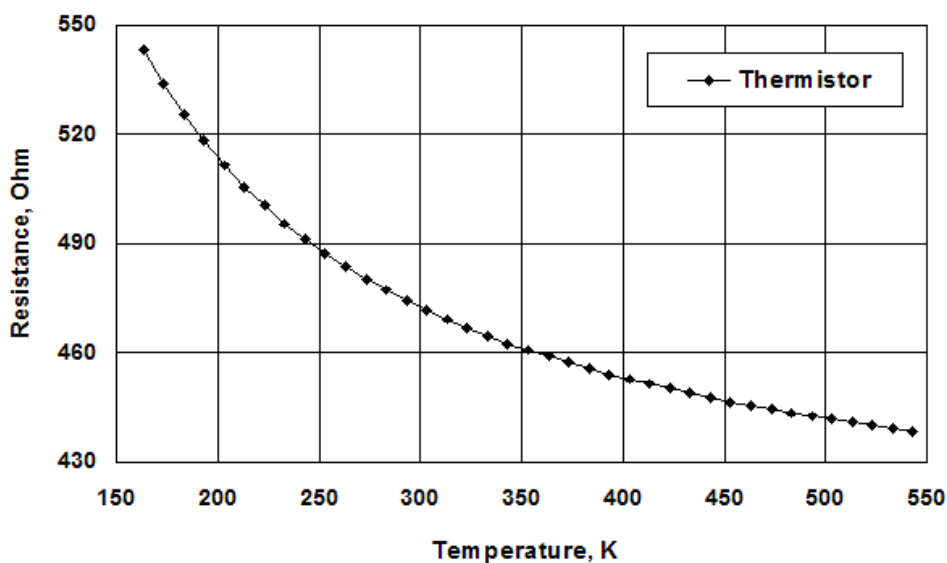


Figura 3. Respuesta de tipos de termocoplas [9]



4. Semiconductores. También conocidos como termistores, estos componentes también presentan una variación en resistencia como respuesta a una variación de temperatura. Tienen la desventaja de ser no lineales, como se aprecia en la Figura 4, pero son pequeños y de bajo costo. [9]

Figura 4. Respuesta de un termistor [9]



H. Grados de protección IP
















El estándar IEC 60529 describe un sistema para clasificar los grados de protección aportados al equipamiento eléctrico por los contenedores que los protegen. Al asignar diferentes códigos numéricos, el grado de protección del producto puede ser identificado de manera rápida y con facilidad. [18]

El código contiene tres partes:

- Las letras IP identifican al estándar.
- El primer dígito describe el nivel de protección ante objetos sólidos.
- El segundo dígito describe el nivel de protección frente al agua.

En la Figura 5 se encuentra el detalle de los valores para cada grado de protección.

Figura 5. Grados de protección IP [14]

			2º CIFRA - Protección contra la entrada perjudicial de agua								
			IP_0	IP_1	IP_2	IP_3	IP_4	IP_5	IP_6	IP_7	IP_8
											
1ª CIFRA - Protección contra cuerpos solidos de diametro mayor a:			No Protegido	Goteo vertical de agua	Goteo hasta 15° de la vertical	Rociado hasta 60° de la vertical	Rociado en todas direcciones (360°)	Lanzamiento en todas direcciones (360°)	Golpes de mar (olas)	Protegido contra inmersión	Protegido contra submersión
IP0_		Sin Protección	IP 00								
IP1_		50mm	IP 10	IP 11	IP 12						
IP2_		12mm	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23					
IP3_		2,5mm	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34				
IP4_		1,0mm	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44	IP 45	IP 46		
IP5_		Protegido contra el polvo	IP 50				IP 54	IP 55	IP 56		
IP6_		Libre contra el polvo	IP 60					IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

IV. DELIMITACIÓN

La implementación de la automatización de un proceso industrial incluye fases de diseño, planificación, cotización, montaje, instalación y pruebas; pero este proyecto se enfoca solamente en el diseño de la automatización.

Por tratarse de una automatización a nivel de diseño, son pertinentes los siguientes aspectos:

A. Monitoreo y control de variables

Se refiere las variables de interés para el flujo automático del proceso, así como su influencia en el comportamiento de los actuadores. Se describen también los cálculos necesarios para mediciones indirectas.

B. Selección y descripción de equipo

Selección de tipos de sensores, controladores y buses de campo con su respectiva configuración. Todos los anteriores con una explicación de las características necesarias de cada uno para su apropiado funcionamiento para la aplicación en cuestión, así como la justificación de las mismas.

C. Descripción del proceso

Detalle del funcionamiento y flujo lógico del proceso de producción automatizado, complementado con su esquematización mediante diagramas de flujo a nivel de detalle de valores de referencia de sensores y acciones tomadas por los actuadores.

D. Diagrama de tuberías e instrumentación

Se realiza un diagrama con la ubicación e identificación de todos los equipos para su posterior cuantificación y realización de referencias en los diagramas de flujo y descripción del proceso.

E. Diagrama eléctrico

Representación visual de la conexión eléctrica de los componentes eléctricos.

F. Diagrama neumático

Representación gráfica del sistema neumático para los accionamientos de las válvulas de control.

V. METODOLOGÍA

A. Observación

En esta etapa se buscaba comprender el proceso manual de la fabricación de jarabe terminado mediante revisión de documentos y manuales relacionados con el tema, así como entrevistas a operarios y encargados de la sala de jarabes.

B. Descripción

Se realizaron diagramas que describen el proceso automatizado, haciendo énfasis en las variables a controlar para la toma de decisiones automáticas.

C. Realización del proyecto

Se elaboraron diagramas P&ID, neumático y eléctrico. Se identificaron las variables a medir y se planteó una descripción de las características requeridas en los sensores y equipos utilizados para esta aplicación. Se realizaron también los cálculos necesarios para el control de las variables que se monitorean de forma indirecta.

D. Examen crítico

Revisión de diagramas y corrección de errores.

E. Presentación

Elaboración y presentación de un reporte final.

VI. AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE JARABE

A. Variables

Para el funcionamiento automático del proceso es necesario monitorear y controlar las siguientes variables.

- Porcentaje de sacarosa por peso (°BRIX).
- Volumen de producción.
- Flujo de producto final entregado a líneas de llenado.

En algunos casos no es factible la medición directa, por lo que se realizan las mediciones de forma indirecta utilizando información de valores de presión, nivel y temperatura.

1. Presión en tanques. Para la medición de presión en los tanques, se utiliza un transductor de presión ubicado en el fondo del tanque y otro ubicado en la parte superior, ambos transductores tendrán como salida una señal analógica. En esta aplicación el valor de interés es el de la presión manométrica (presión ejercida por la columna de líquido dentro del tanque), por lo que el valor utilizado para calcular la densidad será la diferencia entre los transductores superiores e inferiores. Por tratarse de tanques cerrados, pueden existir gases que generen presión al elevarse la temperatura en el tanque, por lo que se utiliza el sensor de presión de la parte superior para obtener la presión manométrica en lugar de solamente tomar como referencia el valor conocido de la presión atmosférica.

2. Nivel en tanques. Se requiere obtener la distancia desde la base del tanque hasta la superficie del fluido. Este valor se obtendrá por medio de una sonda capacitiva colocada en uno de los lados del tanque. Al igual que los sensores de presión, estos también devuelven una señal analógica que deberá ser digitalizada. Debido a que el sensor tiene contacto directo con el producto,

deberá hacerse énfasis en su limpieza durante en lavado de los tanques para evitar la acumulación de impurezas y contaminantes.

3. Temperatura en tanques. El valor de la temperatura dentro del tanque se obtendrá por medio una RTD ubicada en el fondo del tanque. Se ha elegido este tipo de sensor debido a su linealidad en el rango de temperaturas que se manejan dentro de los tanques de producción. La lectura de la RTD deberá pasar a un controlador de temperatura que devolverá un valor en grados centígrados para la temperatura del contenido del tanque. Es necesario conocer este dato para la calcular el valor real de la densidad del agua, ya que este varía de acuerdo a la temperatura. A partir de la densidad del agua es posible obtener la densidad relativa de la solución que es un parámetro utilizado en una regresión para calcular la cantidad de sacarosa por peso en °BRIX.

4. Volumen contenido en tanque. Para medir este parámetro, es necesario conocer el valor del nivel del líquido obtenido del transductor de nivel de cada tanque. El cálculo del volumen de líquidos dentro de los tanques cilíndricos horizontales se realiza por medio de la ecuación A-4-1. Para la deducción detallada de esta ecuación, consultar la sección 1 del apéndice B.

$$V_{\text{total}} = \frac{h^2 m \pi - \frac{2h^3 m \pi}{3\phi} + \frac{\phi^2 \text{ArcTan} \left[\frac{\sqrt{h}}{\sqrt{-h + \phi}} \right] + \sqrt{h}(2h - \phi) * \sqrt{-h + \phi}}{2}}{264.17} * L$$

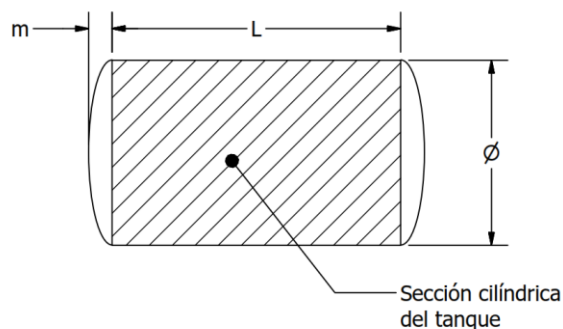
Ecuación A-4-1. Ecuación para el cálculo de volumen de líquido dentro de tanques cilíndricos horizontales.

Donde (referirse a Figura 6 para ubicar dimensiones):

- V_{total} es el volumen total de líquido contenido en el tanque en galones (US), para realizar este cálculo debe utilizarse el radián como dimensión.
- m es el largo de la parte cilíndrica del tanque en metros.

- h es el nivel del líquido dentro del tanque, válido para valores desde cero hasta el 90% de la altura total del tanque en metros.
- ϕ es el diámetro del tanque en metros.

Figura 6. Ubicación de parámetros en taques cilíndricos horizontales.



Para los tanques cilíndricos verticales, se emplea la ecuación A-4-2, ecuación para el cálculo de volumen de líquido dentro de tanques cilíndricos verticales. Para el detalle de la deducción de la ecuación, consultar la sección 2 del apéndice B.

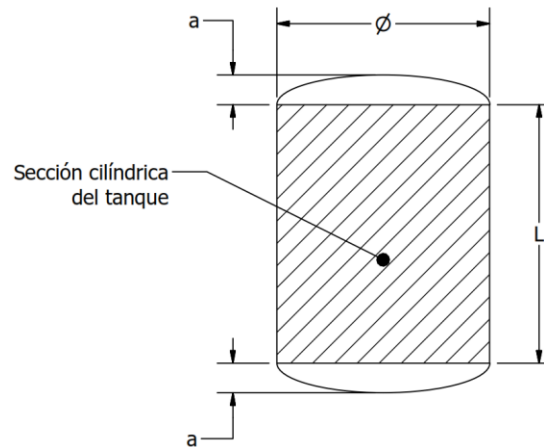
$$V_{Total} = \frac{1}{264.17} * \frac{a * \phi^2 * \pi}{3} + \frac{\phi^2 \pi (h - a)}{4}$$

Ecuación A-4-2. Ecuación para el cálculo de volumen de líquido dentro de tanques cilíndricos verticales.

Donde (referirse a Figura 7 para ubicar dimensiones):

- V_{total} es el volumen total de líquido contenido en el tanque en galones (US).
- L es la altura de la parte cilíndrica del tanque.
- h es el nivel del líquido dentro del tanque, válido para valores desde cero hasta el 90% de la altura total del tanque en metros.
- ϕ es el diámetro del tanque en metros.
- a es la altura de la tapa en forma de medio elipsoide ubicada en la base del tanque.

Figura 7. Ubicación de parámetros en taques cilíndricos verticales.



Esta ecuación es válida solamente para alturas comprendidas entre la base cilíndrica del tanque ($h = a$) y $h = L + a$.

5. Densidad del líquido contenido en los tanques. Este parámetro se deberá calcular de acuerdo a la ecuación A-5-1 y la lectura de presión manométrica obtenida de los sensores de presión, así como el nivel del líquido dentro del tanque arrojado por el transductor de nivel.

$$\rho = \frac{P_1 - P_2}{g * h} = \frac{P}{g * h}$$

Ecuación A-5-1. Ecuación para el cálculo de la densidad del contenido del tanque según el valor de presión manométrica y lectura del sensor de nivel.

Donde:

- P_2 es el valor de presión ejercida en el sensor de presión en la parte superior del tanque en N/m^2 .
- P_1 es el valor de presión ejercida en el sensor de presión en el fondo del tanque N/m^2 .
- ρ es el valor de la densidad del líquido dentro del tanque en kg/m^3 .

- g es el valor de la aceleración ejercida por la fuerza de gravedad y equivale a un valor de 9.81 m/s^2 .
- h es nivel del líquido en metros dentro del tanque obtenido con el sensor de nivel, la lectura se toma desde el fondo del tanque hasta la superficie del líquido.

6. Cantidad de sacarosa por peso. Debido a que la medición de cantidad de sacarosa por peso es una variable difícil de monitorear cuando no se trata de un fluido en movimiento, esta medición se realiza de forma indirecta. Para esto debe conocerse la temperatura del fluido para posteriormente calcular la densidad del agua [A-6-1] la densidad relativa del fluido en el tanque. En la Figura 8 se muestra el comportamiento del valor de la densidad del agua con respecto a variaciones de temperatura. Estos datos fueron obtenidos de los datos presentados en la Tabla 1, del apéndice C. La ecuación A-6-1 es una regresión para el cálculo de la densidad del agua en base a la temperatura a la que esta se encuentre.

$$\rho_{agua} = -0.0036T^2 - 0.0862T + 1001.4$$

Ecuación A-6-1. Regresión para el cálculo de la densidad del agua de acuerdo a la temperatura del contenido del tanque.

Donde:

- ρ_{agua} es la densidad del agua a la temperatura de operación en kg/m^3 .
- T es la temperatura del contenido del tanque en $^{\circ}\text{C}$.

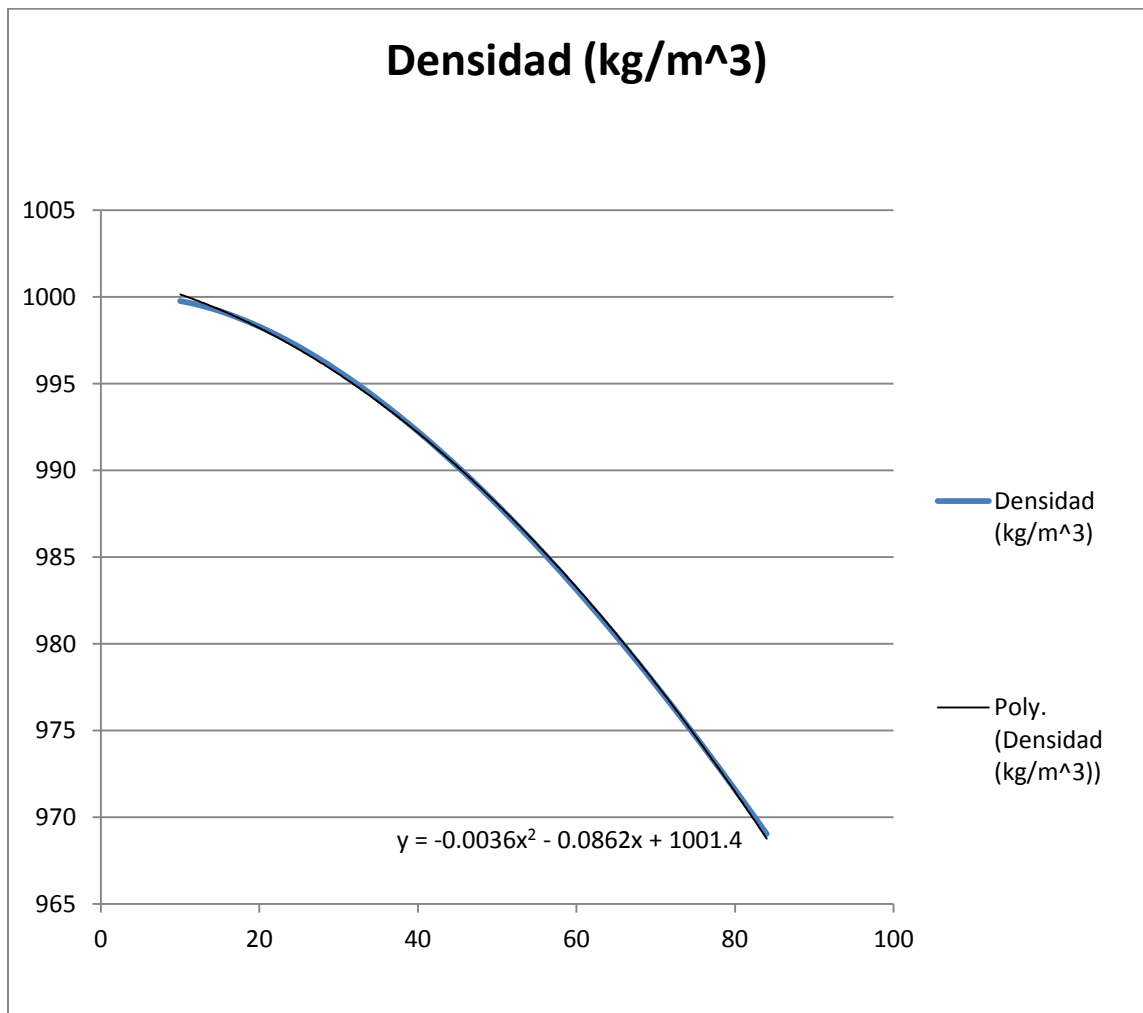
Una vez conocida la densidad del agua, se puede emplear la ecuación de regresión de porcentaje de sacarosa por peso en grados BRIX: A-6-2, para calcular el valor de porcentaje de sacarosa por peso en grados BRIX del líquido contenido en el tanque. Este valor se obtiene a partir de la tabla de densidad relativa frente a cantidad de sacarosa por peso que se encuentra en el apéndice

D. Se generó una gráfica (Figura 9) a partir de la tabla de densidad relativa y se muestra la curva de regresión sobre la obtenida con los datos teóricos.

$$^{\circ}\text{BRIX} = -13 * \left(\frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} \right)^2 + 505.06 * \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} - 373.34$$

Ecuación A-6-2. Regresión para el cálculo de la cantidad de sacarosa por peso en grados BRIX del contenido del tanque.

Figura 8. Regresión lineal del valor de densidad del agua con respecto a la temperatura del tanque



Puede observarse en la gráfica de porcentaje de error de BRIX de la regresión de la ecuación A-6-2 con respecto a los valores teóricos según la circular C440 del Instituto Nacional de Normas y Estándares de Estados Unidos (Figura 10), que los porcentajes de error son muy bajos. Cabe destacar que los datos de la circular han sido obtenidos de forma experimental, por lo que en algunos segmentos la curva no es suave y se observan picos en el porcentaje de error.

Figura 9. Regresión del valor de densidad del agua con respecto a la densidad relativa (gravedad específica) de la disolución según el instituto nacional de normas y tecnología de Estados Unidos (NBS por sus siglas en inglés).

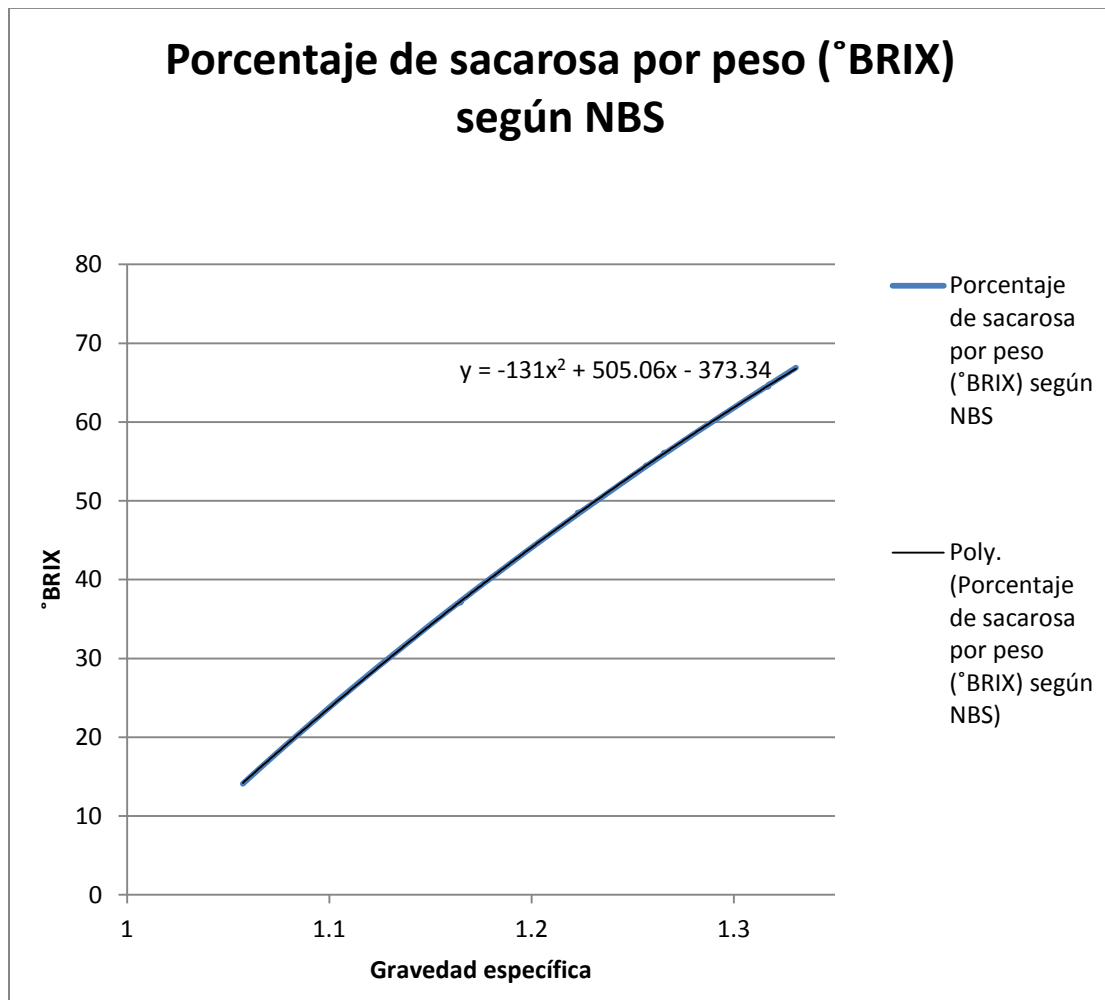
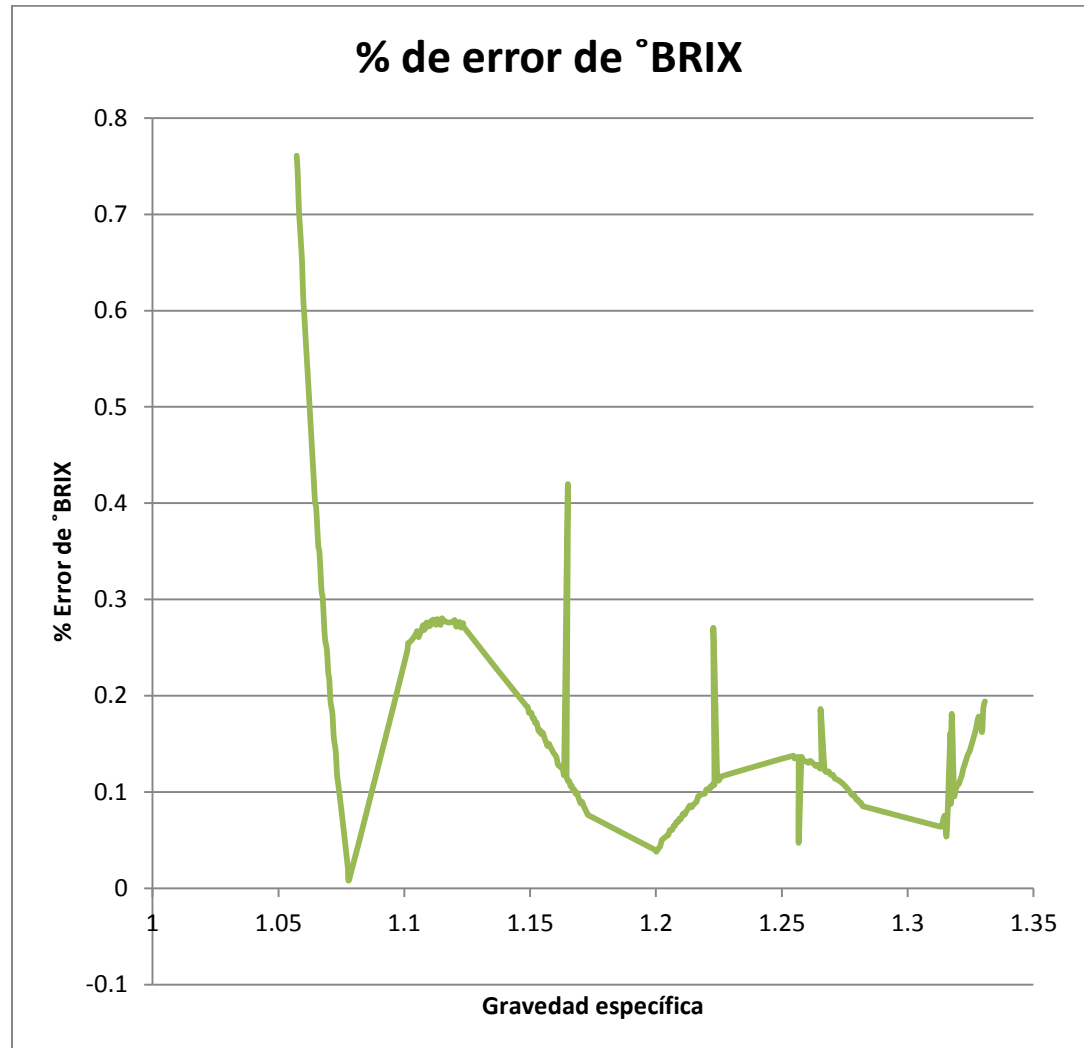


Figura 10. Porcentaje de error de la regresión lineal del valor de densidad del agua con respecto a la densidad relativa (gravedad específica) de la disolución según el instituto nacional de normas y tecnología de Estados Unidos (NBS por sus siglas en inglés).



7. Flujo de entrega de producto. Este valor se monitorea para tener un control de la cantidad de producto entregado a las líneas de llenado y contrastarlo con los valores solicitados. El valor de flujo de entrega de producto se obtiene de transmisores de flujo instalados entre la bomba de cada línea y la línea de llenado. Estos transmisores de flujo ya se encuentran instalados en su lugar y no es posible acceder a ellos, por lo que solamente se toma la lectura que devuelven. Dentro del controlador de los transductores de flujo se realizan

los cálculos para el volumen de fluido que los atraviesa, por lo que libera al controlador general de esta tarea y transmite el dato de volumen entregado a líneas de producción.

B. Ubicación de sensores en tanques

1. Tanques de producción cilíndricos horizontales (tanques del 4 al 12), de acuerdo a la Figura 11.
 - Los sensores de nivel deben ubicarse verticalmente, perpendiculares al eje del cilindro que forma el tanque.
 - Los sensores de temperatura se deben ubicar en la parte más baja del tanque, idealmente en la base del mismo para poder obtener lecturas aunque el tanque esté casi vacío.
 - El sensor de presión número dos ([N]-PT-2, en la figura mostrado como PT2) debe ir colocado en la parte más baja del tanque, ya que se busca medir la presión ejercida por toda la columna de agua. La ubicación de estos sensores en otro punto, arrojaría errores en las mediciones.
 - El sensor de presión uno ([N]-PT-1, en la figura mostrado como PT1) debe colocarse en la parte superior del tanque a una altura de no más de un 10% de la altura del interior del tanque, medida desde la parte superior. De esta forma se busca que el sensor nunca quede cubierto bajo el líquido, ya que de ser así, una parte de la columna de agua no sería tomada en cuenta en la medición de la presión manométrica.

Debido a la geometría de estos tanques, tanto el punto más alto como el más bajo están verticalmente alineados con el centro de la cara circular.

Figura 11. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos horizontales.

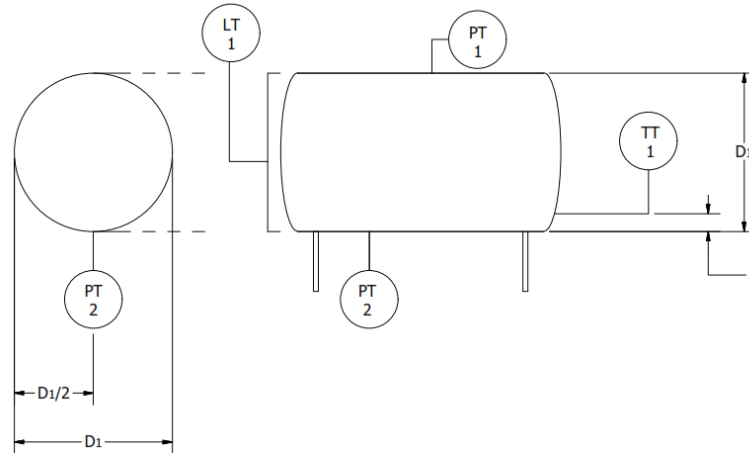
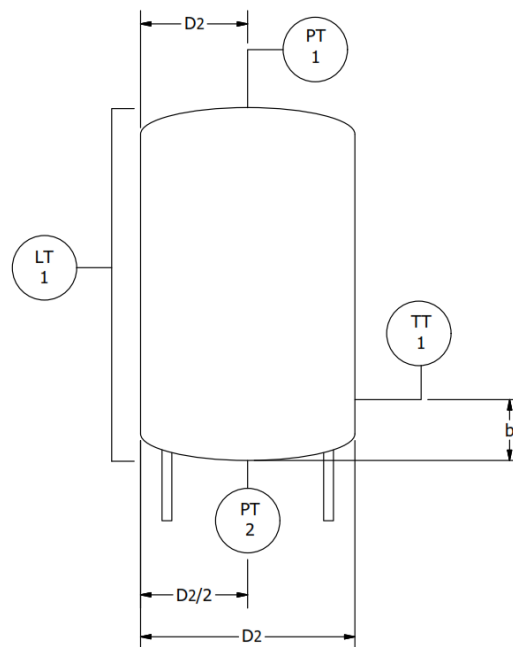


Figura 12. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos verticales.



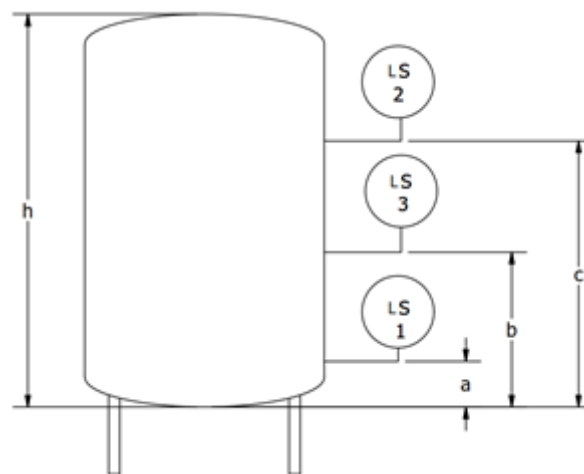
2. Tanques de producción cilíndricos verticales (tanques 1,2, 3, 13, 17 y 28), en referencia a Figura 12. Se busca cumplir con los mismos criterios que con los tanques horizontales, pero en este caso el punto más bajo corresponde al centro de la cara circular del tanque donde va ubicada la tubería. Debido a que el sensor no puede ubicarse justamente en ese punto, este debe colocarse lo más

cercano posible al punto de unión entre el tanque y la tubería para no obtener errores en las mediciones.

3. Tanques de lavado (tanques 14, 15 y 16), según la Figura 13.

- La ubicación vertical del interruptor de nivel [N]-LS1 (En la figura mostrado como LS1), debe ser tal, que la distancia de la base del tanque hasta el sensor sea mínima ($a \approx 0$). De esta forma se asegura que el tanque se haya vaciado por completo al momento de cerrar las válvulas que permiten la salida de líquido del tanque, y de esta forma evitar el desperdicio de material y la cantidad de impurezas en el tanque al momento del lavado.
- La distancia vertical del interruptor de nivel [N]-LS3 (en la figura mostrado como LS3) hasta la base del tanque debe ser cercana a la mitad de la altura total del mismo para asegurarse que haya suficiente agua para diluir los concentrados dentro del tanque y que estos puedan fluir en dirección del tanque de producción.
- La distancia vertical del interruptor de nivel [N]-LS2 (en la figura mostrado como LS2) hasta la base del tanque debe ser alrededor de un 90% de la altura total ($c = 0.9 * h$) para evitar rebalses.

Figura 13. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos de concentrados.

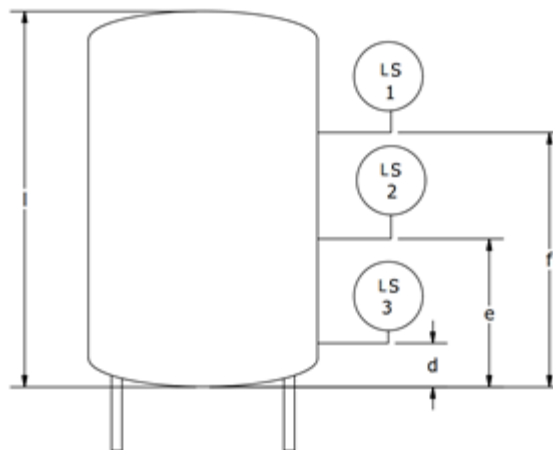


4. Tanques de limpieza (tanques 19 y 20), de acuerdo a la Figura 14. La ubicación de los interruptores en los tanques de limpieza es muy similar a la de los tanques de concentrados, pero se modifica el orden de los interruptores.

Las alturas de instalación deben cumplir con lo siguiente:

- $d \approx 0$
- $e \approx l/2$
- $f \approx 0.9 * l$

Figura 14. Ubicación de sensores en tanques cilíndricos de limpieza.



C. Selección y descripción de equipo

1. Tipo de red de control. La red de control empleada será en configuración de árbol, donde el nivel más alto corresponde al controlador lógico programable. Este PLC será el encargado de monitorear los sensores, realizar cálculos y tomar decisiones y controlar los actuadores. La transferencia será cíclica con el nivel siguiente de la red corresponde a módulos ET200, estos tienen comunicación con el PLC por medio del sistema PROFIBUS. A su vez, estos módulos tienen comunicación con los sensores y actuadores, los cuales se encuentran agrupados en submódulos dependiendo del tipo de puerto (entradas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y salidas digitales neumáticas) y su distribución física en la sala de jarabes.

Al mismo nivel que los módulos ET200, se encuentra la pantalla táctil que se comunica directamente con el PLC por medio de la red PROFIBUS.

La configuración de la red de control puede comprenderse mejor estudiando la Figura 31, la cual presenta un mapa de la red hasta el tercer nivel de jerarquía (submódulos para los módulos ET200). Para conocer qué señales están conectadas a qué submódulos, se deberá consultar el apéndice G, donde se presenta un listado completo de las señales a controlar y medir, el submódulo al que están conectados los dispositivos y los tipos de señales.

Cabe destacar que no se han utilizado la totalidad de los puertos para los submódulos disponibles, para aportar flexibilidad en la red. Esta holgura de puertos permite futuras expansiones o modificaciones.

2. PLC. El procesamiento y la comunicación del proceso automatizado lo llevará a cabo un solo autómatas programable. Dentro de las tareas que debe realizar el controlador, se encuentra una particularmente compleja: realizar los cálculos de volumen de jarabe simple dentro de un tanque de producción. Esta tarea se realiza solamente una vez por cada lote de producción y cada lote de producción toma entre cinco y trece horas (ver apéndice K para más detalles), por lo que no afecta significativamente el tiempo la duración de los ciclos de procesamiento.

El resto de cálculos que debe realizar el controlador son sencillos, entre estos el más complejo es el del valor de cantidad de sacarosa, que corresponde a un polinomio de grado tres. Considerando esto, y que ninguno de los procesos implica un sistema de control de lazo cerrado, la velocidad de procesamiento no es un factor crítico para esta aplicación. Por lo que se seleccionará un controlador con capacidad de procesamiento de mediana a alta.

Además de su velocidad, un requerimiento importante del controlador es el de manejo de los ocho módulos de conexión ET200, así como la compatibilidad con el protocolo PROFIBUS y la interfaz de usuario.

Se sugiere la utilizar el controlador CPU 315-2 DP de la serie SIMATIC S7-300 de Siemens, ya que este cumple con todas las características necesarias en el controlador para poder manejar el proceso semi-autónomo descrito en el presente documento. Para más información, consultar documentación del fabricante.

3. Interfaz con el usuario. La interfaz con el usuario (operador) se realizará por medio de una pantalla táctil en la que se hará el ingreso del programa de producción, el cual incluirá una secuencia de tipos de bebida a fabricar con parámetros de BRIX y volumen deseados. En esta pantalla también se desplegarán las alertas para cuando el operador deba realizar alguna acción de forma manual y será por este mismo medio que el sistema obtendrá una confirmación por parte del operador de que dicha tarea ha sido completada.

Se deberá dar la opción al usuario de acceder a la información del estado actual de cada línea y tanque dentro de la sala en todo momento. Para los tanques de producción se desplegarán los valores de BRIX, densidad, tipo de bebida que está siendo fabricada, temperatura y tiempos de mezclado. El despliegue de volumen dentro de un tanque se calculará y desplegará solamente bajo solicitud del operador, debido a la complejidad del cálculo. La interfaz deberá mostrar una representación visual del contenido del tanque de acuerdo a la información obtenida de los transductores de nivel. Para las líneas de llenado deberá ser posible acceder a valores de BRIX, densidad, temperatura, flujo de entrega, volumen entregado, volumen pendiente de entregar y número de tanque que se encuentra entregando el.

También debe presentársele al operador la opción de anular momentáneamente el programa para realizar operaciones manuales por medio de la pantalla táctil. Una vez ingresado uno de los tanques o líneas a este modo de operación, se deberá terminar el subproceso interrumpido antes de poder regresar al modo automático. En este proceso se deberán poder monitorear las mismas variables que se podrían observar en el modo automático.

4. Transmisores de nivel. Para realizar las mediciones de nivel se utilizarán sondas capacitivas por las siguientes razones.

- Es necesario realizar mediciones en cualquier momento, en el cuál podría o no estar funcionando el motor de mezclado de los tanques, lo cual produciría ruido al utilizar sensores como los ultrasónicos o por radar.
- Las mediciones obtenidas de este tipo de sensores son precisas y exactas. Estas dos cualidades son necesarias ya que el valor del nivel se utiliza para conocer de forma indirecta otras variables: Porcentaje de sacarosa y volumen.

Para elegir un modelo de sensor en específico se debe tener en cuenta que el sensor puede llegar a tener contacto con líquidos entre 15°C y 80 °C, por lo que este debe soportarlas sin dañarse y realizar mediciones confiables en este rango de temperaturas. El transmisor de nivel debe ser capaz de medir el rango de alturas desde la base del tanque y el 90% de la altura total del tanque, por lo que el modelo de transmisor de nivel puede variar según el tipo de tanque. Estos sensores proporcionarán una salida analógica que será digitalizada por los módulos ET200.

5. Transmisores de presión. Se emplearán sensores basados en galgas extensiométricas debido a su linealidad y estabilidad. La desventaja de estos sensores es su dependencia de la temperatura. En esta aplicación no se manejan valores de temperatura demasiado altos, por lo que la medición no se verá sesgada. Se requiere que los sensores respondan correctamente dentro del

tanque, donde estarán expuestos a presiones de hasta 0.7 bar. Se requiere un grado de protección mínimo de IP0-08 debido a que el sensor se encontrará totalmente sumergido en los líquidos contenidos dentro de los tanques de producción y lavado.

6. Válvulas de control. Para esta aplicación se deben utilizar válvulas tipo mariposa con accionamiento neumático de pistón. Esto se debe a que el fluido que pasa por las tuberías lleva una presión, que debe ser vencida por la válvula al cerrar y abrir. A pesar de que podrían emplearse válvulas solenoides; se optó por la opción neumática porque el consumo energético necesario para energizar las bobinas de las válvulas para que estas cierren y abran con suficiente fuerza, sería alto en comparación con las neumáticas. Además de esto, es más conveniente agregar el actuador neumático al cuerpo de las válvulas ya existentes (tipo mariposa) en lugar de reemplazarlas totalmente ya que se el cambio de la válvula implicaría un costo alto y dificultad de la instalación, que interrumpiría la producción de la planta por un período prolongado de tiempo; considerando que sería necesario reemplazar más de 300 válvulas.

Para más información de la conexión de las válvulas y actuadores neumáticos, consultar la sección F, en donde se encuentra el diagrama neumático genérico para cada tanque.

7. Bus de campo. En este diseño se emplea el sistema PROFIBUS debido a que la mayor parte de proveedores de equipos de automatización de renombre tienen compatibilidad con el mismo, además de que el resto de la planta también lo utiliza. Esto facilita el mantenimiento y expansión de la instalación.

Este bus de campo permite conectar varios esclavos en cadena simplificar el cableado de la red. Para mayor información, consultar el mapa de la red de conexión que se encuentra en el apéndice K.

8. Módulos ET200. Se emplearán ocho módulos ET200 para la red de control. Estos módulos son necesarios debido a que el sistema PROFIBUS no puede manejar directamente todos los dispositivos necesarios para la automatización de forma directa. Además de esto se emplean los submódulos de distintos tipos para convertir las señales en los formatos aceptados por los sensores y actuadores.

a. Tipos de módulos empleados

- Módulos de salidas digitales neumáticos (DPO): Empleados para la conexión de los actuadores neumáticos de las válvulas de control, estos deberán ser de 32 conexiones cada uno, para permitir expansiones posteriores.
- Módulos de entradas analógicas (AI): son necesarios para la lectura de los sensores de presión, temperatura y nivel ubicados en los tanques, ya que todos devuelven una señal analógica. Se utilizarán submódulos de ocho entradas.
- Módulos de entradas digitales (DI): Se emplearán módulos de 32 entradas para la conexión de los interruptores de nivel.
- Módulos de salidas digitales (DO): se utilizarán para la conexión de motores a través de sus contactores, se utilizarán también módulos de 32 puertos.

D. Proceso.

La producción del jarabe terminado requiere de tres tipos de materia prima: agua tratada, jarabe simple y concentrados base. El agua tratada es agua purificada que proviene del abastecimiento general de la planta, la cual entra a la sala de producción de jarabe terminado con suficiente presión de forma que para la producción de jarabe sea solo necesario abrirle paso a través de las tuberías para que esta llegue a su destino (algún tanque o tubería) sin necesidad de agregar bombas adicionales.

El jarabe simple es una mezcla de agua con azúcar y otros ingredientes utilizados para purificar y alcanzar dulzura, color y olor deseados. El proceso de

fabricación de este jarabe se realiza en la sala de jarabe simple y entra a la de jarabe terminado como una materia prima con la presión de una bomba externa que siempre está encendida. Los concentrados base son recetas premezcladas en forma líquida o de polvos. Los cuales se utilizan para fabricar un concentrado del el jarabe que se desea producir.

En esta sección se explica a detalle el proceso de producción automatizado de la sala de jarabe terminado haciendo referencia a los diagramas P&ID y de flujo que se encuentran en los apéndices E y F, respectivamente.

1. Diagrama P&ID. En el diagrama P&ID se puede observar de forma gráfica la distribución de los sensores, actuadores, tanques, conexiones y líneas de proceso (Ver apéndice J). Los nombres de los equipos se encuentran codificados para facilitar la realización de referencias. Ejemplo:

Todas las válvulas de conexión a una línea tienen un código con la estructura siguiente: [J]-CV-[M], donde J es el número de línea y M es el número de tanque. (Para más detalles consultar el apéndice J).

2. Diagramas de flujo. En los diagramas de flujo del apéndice F se explica la secuencia del proceso a nivel de sensores y actuadores, utilizando los códigos de los equipos asignados en el diagrama P&ID. Se utilizan variables en los códigos de los equipos. De esta forma se busca facilitar la tarea de programación del controlador, ya que se pueden emplear arreglos de datos para que el direccionamiento indirecto permita la programación de una rutina genérica para varios tanques.

La sala operará de acuerdo a la secuencia de producción ingresada por el usuario. Se realizará una producción en paralelo hasta donde los recursos lo permitan, siendo las limitantes la disponibilidad de los tanques de concentrados y producción. En caso de saturarse estos recursos, la secuencia de producción

será tipo FIFO² en que se agregará a la cola de producción los lotes de jarabe según sean ingresados por medio de la interfaz de usuario a menos que el operador indique una secuencia distinta.

a. Operación automatizada de la sala de jarabes. El diseño automatizado de la sala funciona dándole prioridad a la entrega de jarabe a las líneas de producción. De esta manera se busca que sea posible rotar el producto y desocupar los tanques rápidamente para agilizar la producción, no solamente dentro de la sala de jarabes, sino de las líneas de producción también. La entrega a líneas de producción considera el volumen disponible del tipo de jarabe solicitado, y de ser posible cubrir la demanda, la sala iniciará la el proceso de entrega de jarabe terminado (Figura 23, Entrega de jarabe terminado desde tanque TK-[N] a línea de llenado L[K]). Una vez iniciadas todas las entregas pendientes, se procede a evaluar los lotes de producción programados.

Si existen solicitudes de producción; se seleccionarán los tanques apropiados, tanto de producción como de concentrados (Figuras 24, Selección de tanque TK-[N] para la producción de jarabe y 26, Selección de tanque TK-[M] para la producción de concentrado), y se iniciará la preparación de jarabe (Figura 25, Preparación para producción de jarabe terminado en TK-[N]).

Una vez agotados todos los pedidos o los tanques disponibles, se procede a realizar el lavado de los tanques que ya han sido utilizados y de las líneas que lo necesiten. Estos procesos se describen en las figuras 29 y 30, respectivamente.

² FIFO: Primero en entrar, primero en salir

b. Entrega de jarabe terminado. La entrega requiere la solicitud de jarabe de alguna línea de llenado. Los pedidos realizados pueden exceder el volumen que puede entregar un solo tanque, por lo que una vez se ha vaciado el tanque que está entregando jarabe, se pasa a otro tanque que tenga el mismo tipo de producto. Este volumen se controla por medio de los sensores de flujo ubicados en la tubería de la bomba de cada línea de llenado.

Si durante el proceso se vació por completo un tanque, se procede a agregar el tanque al listado de tanques pendientes de lavado y se continúa entregando producto con otro tanque en caso de ser necesario. Una vez se ha terminado con la entrega de jarabe, se coloca la línea dentro de la lista de líneas pendientes de lavado para atender la tarea cuando sea pertinente.

c. Selección de tanque. Este es el primer paso para la fabricación de un lote de jarabe terminado. La asignación de tanques depende de la cantidad de jarabe que se necesite producir, esto se debe a que existen cuatro tipos de tanques con capacidades volumétricas distintas. Se busca utilizar el tanque más pequeño que sea capaz de albergar el volumen de producción solicitado, siempre que exista disponibilidad. En el caso de no estar disponibles, se pasará al siguiente tamaño de tanque hasta encontrar uno libre. En el caso de no hallar ningún tanque disponible, se esperará para realizar la producción de ese lote y se dará paso al siguiente para producir lotes más pequeños mientras se libera uno del tamaño necesario para cumplir con el volumen solicitado de jarabe terminado.

d. Preparación para producción de jarabe terminado. La preparación para producción de jarabe terminado consta de dos procesos en paralelo: el ingreso de jarabe simple al tanque y la fabricación de concentrados. El ingreso de jarabe simple al tanque se realiza de forma automática. Al ingresar los parámetros de producción del lote, se deberá indicar el volumen de jarabe simple que se necesita; cuando esto suceda, se detendrá su ingreso. Al iniciar la

preparación para producción de jarabe terminado de cada tanque, se debe realizar el cálculo del nivel de líquido que implica el volumen requerido en base a la sección VI.A.2 del presente documento: Volumen contenido en tanques. Este valor de nivel se utilizará para compararlo con el nivel tomado por el sensor en cada ciclo de procesamiento y de esta forma identificar cuando es momento de detener el paso del jarabe. En esta parte del proceso no se maneja el proceso directamente con la variable de interés (volumen), debido a que para calcularlo en cada ciclo se necesitarían demasiados recursos de procesamiento.

El segundo proceso es la fabricación de concentrados, el cual mezcla subprocesos manuales y automáticos. La adición de concentrados base se realiza de forma manual por los operadores, quienes recibirán indicación por medio de la pantalla táctil, de en qué momento deben realizar qué tarea. La comunicación será de dos vías, ya que cuando el operador haya terminado la tarea indicada, este deberá advertir al controlador por el mismo medio.

La producción de concentrados inicia con la adición de concentrados que requieran de bombeo del contenido de un recipiente por medio de la bomba P-[21] (en caso de ser necesario), posteriormente se agregan el resto de concentrados de forma manual de manera simultánea con la adición de agua hasta ajustar al volumen de concentrado solicitado en la receta.

Una vez se han concluido el ingreso de jarabe simple y la producción de concentrados, se procede a la fabricación del producto.

e. Fabricación de producto terminado. Este proceso inicia con la conexión manual de la manguera del tanque K en donde se realizó el concentrado hacia el tanque N, que es en donde se producirá el jarabe terminado. El sistema deberá indicarle al operador entre qué tanques deberá realizar la conexión. Esta es la única parte manual del subproceso.

El ingreso del concentrado se realiza en tres pasos:

- 1) Se bombea el concentrado desde el tanque de concentrados hacia el tanque de producción.
- 2) Se llena con agua el tanque de concentrados y se bombea de nuevo hacia el tanque de producción.
- 3) Se repite el paso 2.

La razón de hacerlo por partes es evitar el desperdicio de concentrado, ya que con cada vez que se rellena el tanque con agua y se envía hacia el tanque de producción, se diluyen los concentrados hasta que en el tanque de concentrados queda solamente agua.

Al concluir el envío del concentrado hacia el tanque de producción, se agrega agua hasta ajustar el valor de porcentaje de sacarosa por peso deseado. Y se mezcla por treinta minutos, cuando termina el mezclado se inicia un temporizador que lleva registro del tiempo añejado que lleva el jarabe terminado.

Paralelamente al ajuste del BRIX, se realiza el lavado del tanque de concentrados. Este se realiza solamente con agua ya que al rellenar el tanque tres veces con agua, se eliminan casi todos los concentrados que podrían haber quedado en el tanque. Adicionalmente a esto, se realizan lavados manuales periódicos con agentes limpiadores.

f. Lavado de tanque. Este es el proceso que requiere mayor intervención del operador. Este deberá agregar agentes limpiadores y agua (por medio de una manguera) al tanque. El sistema está encargado solamente de abrir y cerrar las válvulas para que entre y salga el agua del tanque y drenar hacia un desagüe, así como llevar registro de los tiempos de reposo para cada operación para que el usuario pueda utilizarlos como referencia para determinar en qué momento avanzar hacia la siguiente tarea.

g. Lavado de líneas. El lavado depende de qué línea sea la que se desea higienizar, ya que las líneas de llenado 4, 5 y 8 tienen la capacidad de lavar las tuberías de la sala de jarabes de forma remota. Por esta razón es necesario identificar de qué línea se trata y posteriormente optar por uno de dos procesos.

1) Lavado de líneas normales: Todas las líneas que nos sean las anteriormente mencionadas, se lavan con el auxilio de los tanques de lavado (14, 15 y 16). En estos se prepara una solución limpiadora que es depositada en los tanques y se deja reposar por un período de 20 minutos.

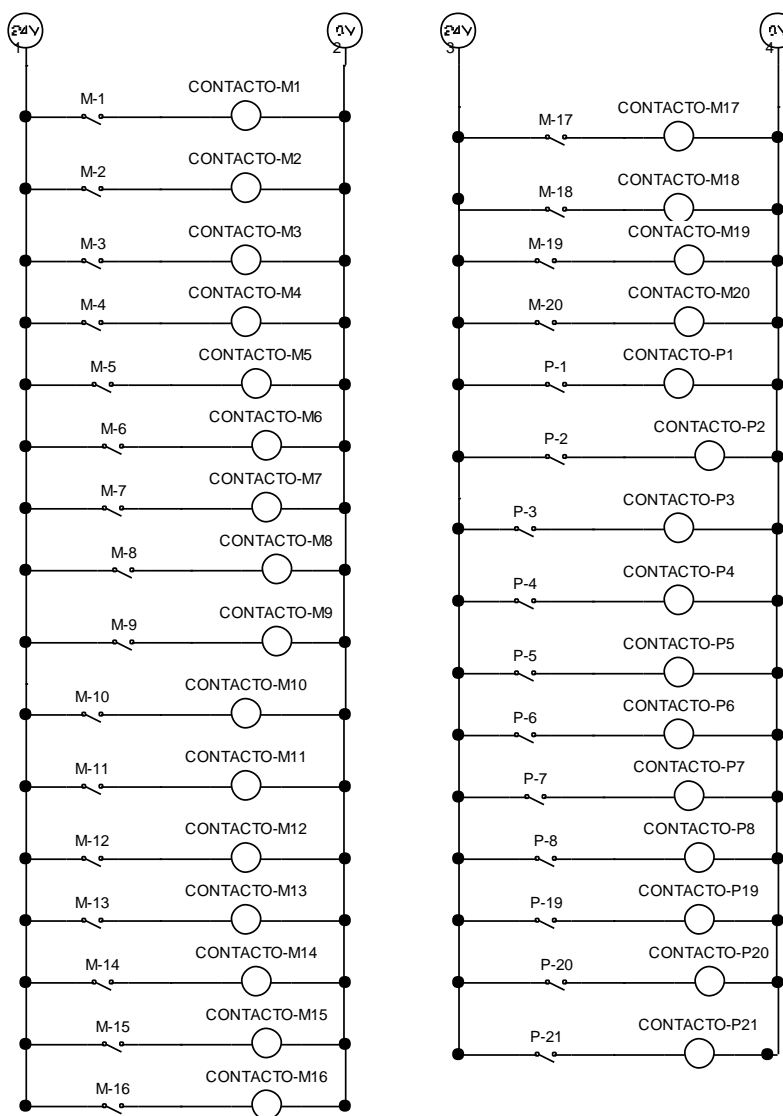
2) Lavado de líneas 4, 5 y 8: El sistema abre el paso a la solución limpiadora proveniente de las líneas de llenado y al igual que con las líneas normales, la deja reposar por 20 minutos.

Una vez concluidos cualquiera de los dos modos de lavado descritos anteriormente, se pasa a eliminar la solución limpiadora de la tubería y a su vaciado. La cantidad de agua agregada depende de los interruptores de nivel ubicados en los tanques. Las tuberías se enjuagan dos veces y se vacían por completo, dejando abiertas las válvulas el tiempo suficiente para que el agua drene y caiga por gravedad hacia el desagüe por medio de las válvulas de purga.

E. Diagrama eléctrico

En el diagrama eléctrico se representa por medio de un diagrama de escalera, en el cual se incluyen las señales de los motores que van hacia contactores, la alimentación de los mismos no se coloca como un voltaje explícito, ya que no se conocen qué tipos de motores se están utilizando, por lo tanto no es posible asignar un voltaje de alimentación ni un número de fases. El diagrama eléctrico se muestra en la Figura 15. Los componentes tienen los mismos nombres asignados en el diagrama P&ID del apéndice E.

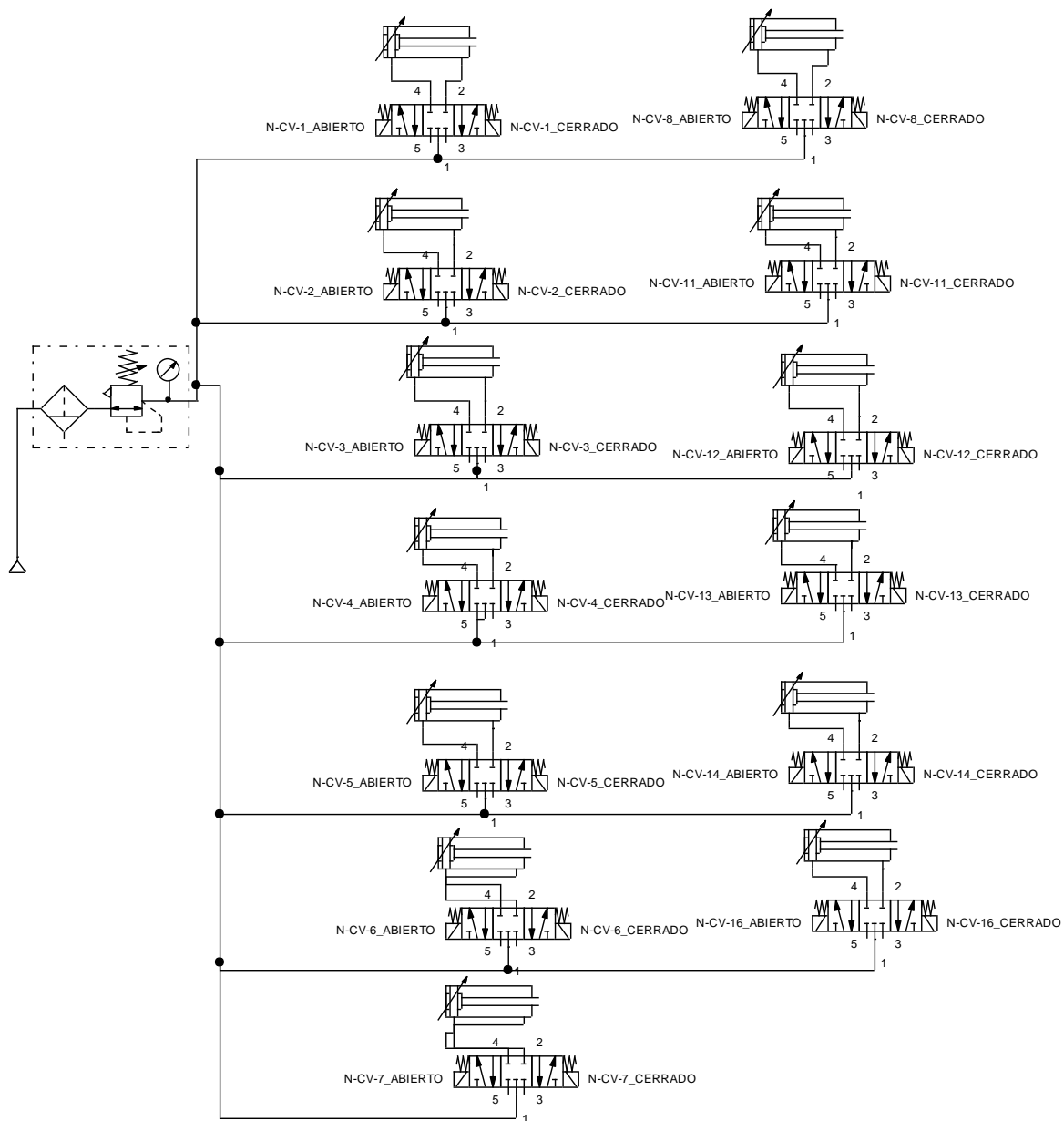
Figura 15. Diagrama eléctrico.



F. Diagrama neumático típico

En la Figura 16 se muestra un diagrama de conexión neumática típico para los tanques de producción y de lavado, este se muestra en términos de la variable N, donde N es el número de tanque. Se emplean los mismos nombres de los componentes indicados en el diagrama P&ID. Cada válvula es controlada por una señal que proviene de los submódulos neumáticos ET200 y acciona un actuador de pistón, en este caso representado por un cilindro con vástago. Se utilizaron válvulas 5/3 con retornos por resorte para que esta deba ser energizada solamente cuando está en proceso de abrir o cerrar y que regrese automáticamente, sosteniéndose en esa posición hasta que conmute la señal.

Figura 16. Diagrama neumático típico por tanque



VII. ANÁLISIS FODA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

A. Fortalezas

1. La implementación del proyecto de automatización aceleraría el proceso de producción de jarabe terminado.
2. Al disminuir la intervención humana en el proceso de fabricación de jarabe terminado, se disminuyen los errores.
3. La automatización disminuiría la cantidad de operarios necesarios para manejar la sala de jarabes.

B. Oportunidades

1. La forma en que está diseñado el proyecto, permite la expansión del sistema para incluir dos líneas de llenado adicionales.
2. El sistema se presta para generar reportes de las condiciones de las variables de proceso.

C. Debilidades

1. La inversión requerida para automatizar el proyecto es alta.
2. La instalación de los equipos requiere detener la producción si no en su totalidad, en forma parcial.

D. Amenazas

1. Los sensores de nivel por ser de contacto (sondas capacitivas) pueden dañarse si no se limpian adecuadamente y arrojar lecturas falsas.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A. El alto número de componentes a conectar en la red de control requiere la utilización de módulos de periferia para poder emplear un sistema con un único controlador central.
- B. El parámetro de cantidad de sacarosa por porcentaje de peso es una variable difícil de cuantificar de forma directa, por lo que su medición debe realizarse de forma indirecta.
- C. La utilización de válvulas con actuadores neumáticos de pistón y válvulas 5/3 con retorno de resorte, implica un ahorro energético en comparación con el empleo de válvulas solenoides.
- D. La elección de celdas capacitivas para medición de nivel permite realizar mediciones continuas durante todo el proceso sin ser estas susceptibles a ruidos por el accionamiento de motores mezcladores dentro de los tanques.
- E. Debido a que en este sistema no se emplean sistemas de control de lazo cerrado, la velocidad de procesamiento no es un factor crítico, lo que permite la utilización de un solo controlador para todo el proceso.
- F. Como medida de seguridad se recomienda colocar válvulas de seguridad en los tanques de producción.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Avizora, *Todo sobre la cerveza*
http://www.avizora.com/publicaciones/gastronomia/textos/cerveza_historia_0007.htm
2. Bioprocess technology. *Grado de protección IP.*
<http://fernandobertolo.files.wordpress.com/2008/06/proteccion-ip.pdf>
3. *Brix values.* <http://www.kennzeichnungsrecht.de/english/brix.html>
4. Crioser, P. 2002. *Festo pneumatic. Festo Didactic GmbH & CO.,*
Denkerdorf Alemania. 274 págs.
5. *El PLC.* http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm
6. Estados Unidos. 1942. *National Bureau of Standards. Polarimetry, saccharimetry and the sugars, table 114.* Estados Unidos, Departamento de Comercio. 12 págs.
7. Estados Unidos. 1993. Departamento de energía. *Doe fundamentals handbook Engineering symbology, prints and drawings volume 1 of 2.* Estados Unidos, Departamento de Comercio. 24 págs.
8. Felipe Gallardo. *Infoexploradora región de la Aaraucaña.*
http://dungun.ufro.cl/~explora/index_archivos/refractometro.pdf
9. *How to measure pressure with pressure sensors.*
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3639>
10. IIMPI. *Sensores de nivel.*
http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte_IV.nivel.pdf

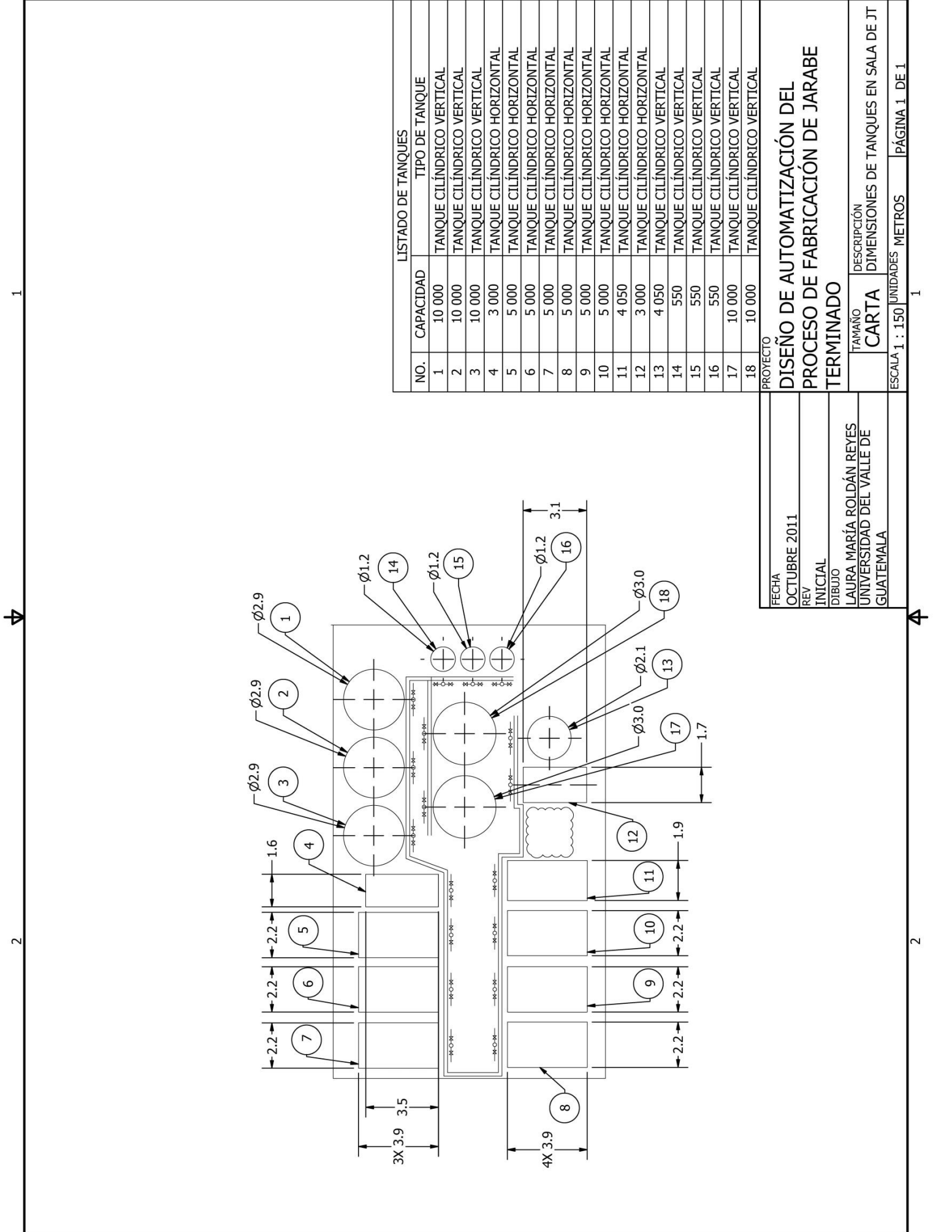
12. *Instrumentación y control.*
<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-completo-instrumentacion-industrial/215-sensores-de-presion-lo-basico--pero-lo-importante.html>
13. Jose Amable González. *Densidad relativa = specific gravity, para instrumentistas y lingüistas.*
<http://www.tiemporeal.es/archivos/DensidadRelativa.pdf>
14. Marcela Vizcay. Sensores de Presión. *EL53A Taller de Proyecto en Control I.* <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/EL53A/1/.../81629>
15. *Medición de temperatura.* 2009. Universidad del Valle de Guatemala. 35 págs.
16. Nidia Cobiello, *El azúcar.* <http://www.educar.org/inventos/azucar.asp>
17. P&ID symbols and examples
<http://www.automationengineering.co.uk/2010/11/06/pid-symbols-and-examples/>
18. *Periferia descentralizada*
<http://www.etitudela.com/celula/downloads/entradassalidasdescentralizadas.pdf>
19. *Prisma nicol.*
<http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/HT18e.html>
20. *Saccharimeter*
http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Polarized_Light/Saccharimeter/Saccharimeter.html
21. *Simatic ET200.* 2005. Siemens. República Federal de Alemania. 36 págs.
22. *Simatic S7-300.* 2010. Siemens. República Federal de Alemania. 127 págs.
23. *Tabla de características de protección IP.*
http://www.phercab.com/pdf/proteccion_ip.pdf

24. *Tema 1. Introducción a las comunicaciones industriales.* 2004. Universidad de Oviedo. España. 17 págs.
25. *Tema 8. ProfiBus.* 2004. Universidad de Oviedo. España. 13 págs.
26. *Totally Integrated Automation- Guía de productos.* 2011. Siemens. República Federal de Alemania. 235 págs.

X. APÉNDICE

A. Planos de sala de jarabes

Figura 17. Dimensiones de tanques en sala de jarabe terminado.



LISTADO DE TANQUES	
NO.	CAPACIDAD
1	10 000
2	10 000
3	10 000
4	3 000
5	5 000
6	5 000
7	5 000
8	5 000
9	5 000
10	5 000
11	4 050
12	3 000
13	4 050
14	550
15	550
16	550
17	10 000
18	10 000

TIPO DE TANQUE	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	
TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL	

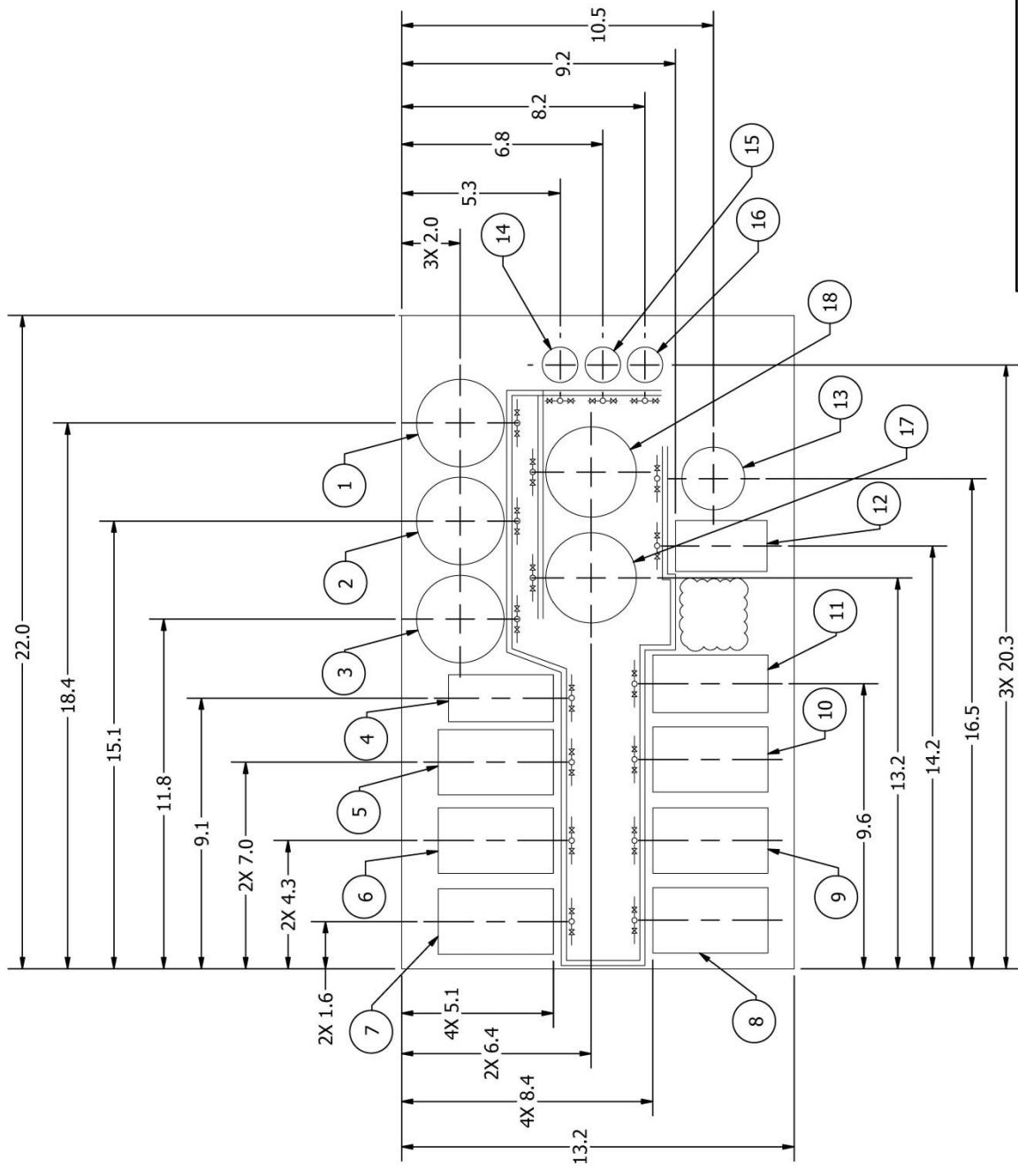
PROYECTO
DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE JARABE TERMINADO

FECHA: OCTUBRE 2011
 REV: INICIAL
 DIBUJO: LAURA MARÍA ROLDÁN REYES
 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

TAMAÑO: CARTA
 DESCRIPCIÓN: DIMENSIONES DE TANQUES EN SALA DE JT

ESCALA 1 : 150 UNIDADES METROS PÁGINA 1 DE 1

Figura 18. Ubicación de tanques de sala de jarabe terminado.



LISTADO DE TANQUES

NO.	CAPACIDAD	TIPO DE TANQUE
1	10 000	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
2	10 000	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
3	10 000	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
4	3 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
5	5 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
6	5 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
7	5 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
8	5 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
9	5 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
10	5 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
11	4 050	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
12	3 000	TANQUE CILÍNDRICO HORIZONTAL
13	4 050	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
14	550	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
15	550	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
16	550	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
17	10 000	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL
18	10 000	TANQUE CILÍNDRICO VERTICAL

PROYECTO

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN DEL
PROCESO DE FABRICACIÓN DE JARABE
TERMINADO**

TAMAÑO
CARTA

DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN DE TANQUES DE SALA DE JT

ESCALA 1 : 150 UNIDADES METROS | PÁGINA 1 DE 1

FECHA

OCTUBRE 2011

REV

INICIAL

DIBUJO

LAURA MARÍA ROLDÁN REYES
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

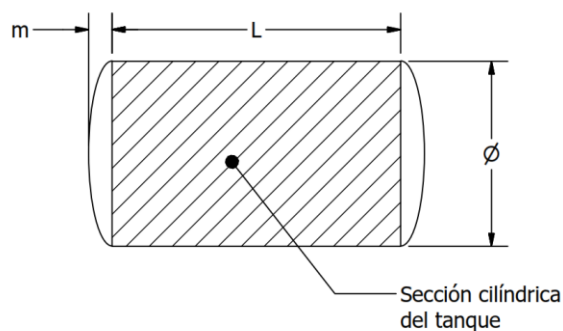
B. Deducción de ecuaciones para el cálculo de volumen de jarabe contenido en los tanques

Para monitorear este parámetro, es necesario conocer el valor del nivel del líquido obtenido del transductor de nivel de cada tanque. A continuación se incluyen las ecuaciones para calcular el volumen de líquidos.

1. Volumen de tanques cilíndricos horizontales. Considere lo siguiente (referirse a Figura 19 para ubicar dimensiones):

- V_{total} es el volumen total de líquido contenido en el tanque en galones (US), para realizar este cálculo debe el radián como dimensión para ángulos.
- m es el largo de la parte cilíndrica del tanque en metros.
- h es el nivel del líquido dentro del tanque, válido para valores desde cero hasta el 90% de la altura total del tanque en metros.
- ϕ es el diámetro del tanque en metros.

Figura 19. Ubicación de parámetros en tanques cilíndricos horizontales.



a. Volumen de extremos de tanques. Las tapaderas de los tanques son dos mitades de un elipsoide con semiejes de dimensiones ϕ (en los ejes x y y) y $2m$ (en el eje z). Para encontrar su volumen cuando el tanque está lleno

hasta un nivel a , se modelan como un sólido en revolución desplazado hacia arriba en el eje y .

$$V_1 = \int_0^a \pi * \frac{m}{\phi/2} \left(\left(\frac{\phi}{2} \right)^2 - \left(y - \left(\frac{\phi}{2} \right) \right)^2 \right) dy$$

$$V_1 = h^2 m \pi - \frac{2h^3 m \pi}{3\phi} \quad [\text{A-B-1}]$$

b. Volumen de parte cilíndrica del tanque. Para determinar el volumen de la parte cilíndrica del tanque se determina primero el área transversal hasta el nivel a . Para esto realiza una integral doble del diferencial de área con límites en $[0, \sqrt{((\phi/2)^2 - (y - (\phi/2))^2)}]$ para el eje x , que corresponden a la sección circular del cilindro y $[0, h]$ en el eje y , que limita el nivel del líquido contenido en el tanque.

$$A_2 = \int_0^a \int_0^{\sqrt{\left(\frac{\phi}{2}\right)^2 - \left(y - \left(\frac{\phi}{2}\right)\right)^2}} 2 dx dy$$

$$V_2 = \frac{\phi^2 \text{ArcTan}\left[\frac{\sqrt{h}}{\sqrt{-h+\phi}}\right] + \sqrt{h}(2h-\phi) * \sqrt{-h+\phi}}{2} * L \quad [\text{A-B-2}]$$

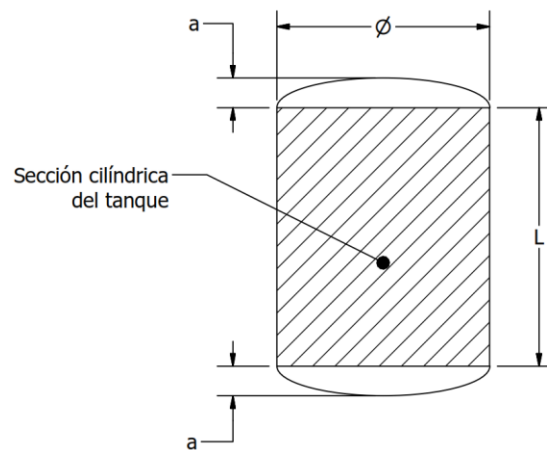
c. Volumen total del tanque. El volumen total del tanque corresponde a la sumatoria del volumen del líquido dentro de las secciones de los extremos y el de la parte cilíndrica, como lo indica la ecuación A-B-3.

$$V_{\text{total}} = h^2 m \pi - \frac{2h^3 m \pi}{3\phi} + \frac{\phi^2 \text{ArcTan}\left[\frac{\sqrt{h}}{\sqrt{-h+\phi}}\right] + \sqrt{h}(2h-\phi) * \sqrt{-h+\phi}}{2} * L$$

[A-B-3] Ecuación para el cálculo del volumen total de un tanque horizontal.

2. Volumen de cilíndricos tanques verticales. Considere la siguiente figura:

Figura 20. Ubicación de parámetros en tanques cilíndricos verticales.



El volumen de los tanques se determina por secciones. La primera sección corresponde a la altura comprendida entre la base del tanque y la base del cilindro. El volumen de esta se determina con la ecuación del volumen de un elipsoide de radios a en el eje z y $\frac{\phi}{2}$ en los ejes x y y .

$$V_1 = \frac{4}{3} * \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 * a * \pi \quad [A-B-4]$$

A partir del punto $h = a$, la función de volumen es:

$$V_{Total} = \frac{a * \phi^2 * \pi}{3} + \frac{\phi^2 \pi (h - a)}{4}$$

[A-B -5] Ecuación para el cálculo del volumen total de un tanque cilíndrico vertical.

Esta ecuación A-5-B es válida solamente para alturas comprendidas entre la base cilíndrica del tanque ($h = a$) y $h = L$, donde m es la altura de la parte cilíndrica del tanque

C. Tabla de temperatura vs. Densidad del agua

Información para la regresión para el cálculo de la densidad del agua

Tabla 1. Valores de densidad para el agua entre 10 y 85 °C con valor de densidad calculado con regresión lineal y porcentaje de error.

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m³)	Densidad obtenida de regresión (kg/m³)	Porcentaje de error
10	999.7700	1000.1780	0.0408
11	999.6800	1000.0162	0.0336
12	999.5800	999.8472	0.0267
13	999.4600	999.6710	0.0211
14	999.3300	999.4876	0.0158
15	999.1900	999.2970	0.0107
16	999.0300	999.0992	0.0069
17	998.8600	998.8942	0.0034
18	998.6800	998.6820	0.0002
19	998.4900	998.4626	0.0027
20	998.2900	998.2360	0.0054
21	998.0800	998.0022	0.0078
22	997.8600	997.7612	0.0099
23	997.6200	997.5130	0.0107
24	997.3800	997.2576	0.0123
25	997.1300	996.9950	0.0135
26	996.8600	996.7252	0.0135
27	996.5900	996.4482	0.0142
28	996.3100	996.1640	0.0147
29	996.0200	995.8726	0.0148
30	995.7100	995.5740	0.0137
31	995.4100	995.2682	0.0142
32	995.0900	994.9552	0.0135
33	994.7600	994.6350	0.0126

Tabla 1. Continuación

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Densidad obtenida de regresión (kg/m ³)	Porcentaje de error
34	994.4300	994.3076	0.0123
35	994.0800	993.9730	0.0108
36	993.7300	993.6312	0.0099
37	993.3700	993.2822	0.0088
38	993.0000	992.9260	0.0075
39	992.6300	992.5626	0.0068
39	992.6300	992.5626	0.0068
40	992.2500	992.1920	0.0058
41	991.8600	991.8142	0.0046
42	991.4600	991.4292	0.0031
43	991.0500	991.0370	0.0013
44	990.6400	990.6376	0.0002
45	990.2200	990.2310	0.0011
46	989.8000	989.8172	0.0017
47	989.3600	989.3962	0.0037
48	988.9200	988.9680	0.0049
49	988.4700	988.5326	0.0063
50	988.0200	988.0900	0.0071
51	987.5600	987.6402	0.0081
52	987.0900	987.1832	0.0094
53	986.6200	986.7190	0.0100
54	986.1400	986.2476	0.0109
55	985.6500	985.7690	0.0121
56	985.1600	985.2832	0.0125
57	984.6600	984.7902	0.0132
58	984.1600	984.2900	0.0132
59	983.6400	983.7826	0.0145
60	983.1300	983.2680	0.0140
61	982.6000	982.7462	0.0149

Tabla 1. Continuación

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m³)	Densidad obtenida de regresión (kg/m³)	Porcentaje de error
62	982.0700	982.2172	0.0150
63	981.5400	981.6810	0.0144
64	981.0000	981.1376	0.0140
65	980.4500	980.5870	0.0140
66	979.9000	980.0292	0.0132
67	979.3400	979.4642	0.0127
68	978.7800	978.8920	0.0114
69	978.2100	978.3126	0.0105
70	977.6300	977.7260	0.0098
71	977.0500	977.1322	0.0084
72	976.4700	976.5312	0.0063
73	975.8800	975.9230	0.0044
74	975.2800	975.3076	0.0028
75	974.6800	974.6850	0.0005
76	974.0800	974.0552	0.0025
77	973.4600	973.4182	0.0043
78	972.8500	972.7740	0.0078
79	972.2300	972.1226	0.0110
80	971.6000	971.4640	0.0140
81	970.9700	970.7982	0.0177
82	970.3300	970.1252	0.0211
83	969.6900	969.4450	0.0253
84	969.0400	968.7576	0.0291

D. Tabla de densidad vs. °BRIX

Información para la regresión para el cálculo de BRIX°

Tabla 2. Valores de Porcentaje de sacarosa por peso (°BRIX) con respecto a la gravedad específica según La circular C440 del Departamento Nacional de Estándares de los estados Unidos (NBS por sus siglas en inglés): Polarimetría, sacarimetría y las azúcares

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.0573	14.10	14.21	0.76
1.0577	14.20	14.31	0.74
1.0581	14.30	14.40	0.71
1.0585	14.40	14.50	0.69
1.0590	14.50	14.60	0.67
1.0594	14.60	14.70	0.65
0.0598	14.70	14.79	0.62
1.0603	14.80	14.89	0.60
1.0607	14.90	14.99	0.58
1.0611	15.00	15.08	0.56
1.0615	15.10	15.18	0.54
1.0620	15.20	15.28	0.52
1.0624	15.30	15.38	0.50
1.0628	15.40	15.47	0.48
1.0633	15.50	15.57	0.46
1.0637	15.60	15.67	0.44
1.0641	15.70	15.77	0.42
1.0646	15.80	15.86	0.40
1.0650	15.90	15.96	0.40
1.0654	16.00	16.06	0.38
1.0659	16.10	16.16	0.36

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.0663	16.20	16.26	0.35
1.0667	16.30	16.35	0.33
1.0672	16.40	16.45	0.31
1.0676	16.50	16.55	0.30
1.0680	16.60	16.65	0.28
1.0685	16.70	16.74	0.26
1.0689	16.80	16.84	0.25
1.0693	16.90	16.94	0.25
1.0698	17.00	17.04	0.23
1.0702	17.10	17.14	0.22
1.0706	17.20	17.23	0.20
1.0711	17.30	17.33	0.19
1.0715	17.40	17.43	0.18
1.0719	17.50	17.53	0.16
1.0724	17.60	17.63	0.15
1.0728	17.70	17.72	0.14
1.0733	17.80	17.82	0.12
1.0737	17.90	17.92	0.11
1.0741	18.00	18.02	0.10
1.0746	18.10	18.12	0.09
1.0750	18.20	18.21	0.08
1.0755	18.30	18.31	0.07
1.0759	18.40	18.41	0.06
1.0763	18.50	18.51	0.05
1.0768	18.60	18.61	0.04
1.0772	18.70	18.71	0.03
1.0777	18.80	18.80	0.02
1.0781	18.90	18.90	0.01
1.1010	24.00	23.94	0.24

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.1015	24.10	24.04	0.25
1.1020	24.20	24.14	0.26
1.1024	24.30	24.24	0.26
1.1029	24.40	24.34	0.26
1.1033	24.50	24.44	0.26
1.1038	24.60	24.54	0.26
1.1043	24.70	24.64	0.26
1.1047	24.80	24.73	0.26
1.1052	24.90	24.83	0.27
1.1056	25.00	24.93	0.26
1.1061	25.10	25.03	0.26
1.1066	25.20	25.13	0.27
1.1239	28.90	28.82	0.27
1.1486	34.00	33.94	0.19
1.1490	34.10	34.04	0.19
1.1495	34.20	34.14	0.18
1.1500	34.30	34.24	0.18
1.1505	34.40	34.34	0.18
1.1510	34.50	34.44	0.18
1.1515	34.60	34.54	0.18
1.1520	34.70	34.64	0.17
1.1525	34.80	34.74	0.17
1.1530	34.90	34.84	0.17
1.1535	35.00	34.94	0.16
1.1540	35.10	35.04	0.16
1.1545	35.20	35.14	0.16
1.1550	35.30	35.24	0.16
1.1555	35.40	35.34	0.16
1.1560	35.50	35.45	0.15

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.1565	35.60	35.55	0.15
1.1570	35.70	35.65	0.15
1.1575	35.80	35.75	0.15
1.1580	35.90	35.85	0.15
1.1585	36.00	35.95	0.14
1.1590	36.10	36.05	0.14
1.1595	36.20	36.15	0.14
1.1605	36.40	36.35	0.14
1.1610	36.50	36.45	0.13
1.1615	36.60	36.55	0.13
1.1620	36.70	36.65	0.13
1.1625	36.80	36.75	0.13
1.1630	36.90	36.85	0.12
1.1635	37.00	36.96	0.12
1.1650	37.10	37.26	0.42
1.1645	37.20	37.16	0.12
1.1650	37.30	37.26	0.11
1.1655	37.40	37.36	0.11
1.1660	37.50	37.46	0.11
1.1665	37.60	37.56	0.11
1.1670	37.70	37.66	0.10
1.1675	37.80	37.76	0.10
1.1680	37.90	37.86	0.10
1.1685	38.00	37.96	0.10
1.1690	38.10	38.06	0.10
1.1696	38.20	38.16	0.09
1.1701	38.30	38.27	0.09
1.1706	38.40	38.37	0.09
1.1711	38.50	38.47	0.09

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.1716	38.60	38.57	0.08
1.1721	38.70	38.67	0.08
1.1726	38.80	38.77	0.08
1.1731	38.90	38.87	0.08
1.1996	44.00	44.02	0.04
1.2001	44.10	44.12	0.04
1.2007	44.20	44.22	0.04
1.2012	44.30	44.32	0.04
1.2017	44.40	44.42	0.04
1.2023	44.50	44.52	0.05
1.2028	44.60	44.62	0.05
1.2033	44.70	44.72	0.05
1.2039	44.80	44.82	0.05
1.2044	44.90	44.92	0.05
1.2049	45.00	45.02	0.06
1.2055	45.10	45.13	0.06
1.2060	45.20	45.23	0.06
1.2065	45.30	45.33	0.06
1.2071	45.40	45.43	0.07
1.2076	45.50	45.53	0.07
1.2081	45.60	45.63	0.07
1.2087	45.70	45.73	0.07
1.2092	45.80	45.83	0.07
1.2097	45.90	45.93	0.07
1.2103	46.00	46.03	0.07
1.2108	46.10	46.14	0.08
1.2113	46.20	46.24	0.08
1.2119	46.30	46.34	0.08
1.2124	46.40	46.44	0.08

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.2130	46.50	46.54	0.08
1.2135	46.60	46.64	0.09
1.2140	46.70	46.74	0.08
1.2146	46.80	46.84	0.09
1.2151	46.90	46.94	0.09
1.2156	47.00	47.04	0.09
1.2162	47.10	47.14	0.09
1.2167	47.20	47.25	0.10
1.2173	47.30	47.35	0.10
1.2178	47.40	47.45	0.10
1.2184	47.50	47.55	0.10
1.2189	47.60	47.65	0.10
1.2194	47.70	47.75	0.10
1.2200	47.80	47.85	0.10
1.2205	47.90	47.95	0.10
1.2211	48.00	48.05	0.10
1.2216	48.10	48.15	0.11
1.2222	48.20	48.25	0.11
1.2227	48.30	48.35	0.11
1.2232	48.40	48.45	0.11
1.2228	48.50	48.37	0.27
1.2243	48.60	48.66	0.11
1.2249	48.70	48.75	0.11
1.2254	48.80	48.86	0.11
1.2260	48.90	48.96	0.12
1.2544	54.00	54.07	0.14
1.2550	54.10	54.17	0.14
1.2555	54.20	54.27	0.14
1.2561	54.30	54.37	0.14

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.2567	54.40	54.47	0.14
1.2567	54.50	54.47	0.05
1.2578	54.60	54.67	0.14
1.2584	54.70	54.77	0.13
1.2589	54.80	54.87	0.13
1.2595	54.90	54.97	0.13
1.2601	55.00	55.07	0.13
1.2606	55.10	55.17	0.13
1.2612	55.20	55.27	0.13
1.2618	55.30	55.37	0.13
1.2624	55.40	55.47	0.13
1.2629	55.50	55.57	0.13
1.2635	55.60	55.67	0.13
1.2641	55.70	55.77	0.13
1.2647	55.80	55.87	0.13
1.2652	55.90	55.97	0.12
1.2658	56.00	56.07	0.13
1.2654	56.10	56.00	0.19
1.2670	56.20	56.27	0.12
1.2675	56.30	56.37	0.12
1.2681	56.40	56.47	0.12
1.2687	56.50	56.57	0.12
1.2693	56.60	56.67	0.12
1.2698	56.70	56.77	0.12
1.2704	56.80	56.87	0.12
1.2710	56.90	56.97	0.11
1.2716	57.00	57.06	0.11
1.2721	57.10	57.16	0.11
1.2727	57.20	57.26	0.11

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.2733	57.30	57.36	0.11
1.2739	57.40	57.46	0.11
1.2745	57.50	57.56	0.11
1.2750	57.60	57.66	0.11
1.2756	57.70	57.76	0.10
1.2762	57.80	57.86	0.10
1.2768	57.90	57.96	0.10
1.2774	58.00	58.06	0.10
1.2779	58.10	58.16	0.10
1.2785	58.20	58.26	0.10
1.2791	58.30	58.36	0.09
1.2797	58.40	58.45	0.09
1.2803	58.50	58.55	0.09
1.2809	58.60	58.65	0.09
1.2815	58.70	58.75	0.09
1.2820	58.80	58.85	0.09
1.2826	58.90	58.95	0.09
1.3130	64.00	63.96	0.06
1.3136	64.10	64.06	0.06
1.3142	64.20	64.15	0.07
1.3148	64.30	64.25	0.08
1.3155	64.40	64.36	0.06
1.3170	64.50	64.60	0.16
1.3166	64.60	64.54	0.09
1.3172	64.70	64.64	0.09
1.3175	64.80	64.68	0.18
1.3185	64.90	64.84	0.10
1.3191	65.00	64.93	0.10
1.3197	65.10	65.03	0.11

Tabla 2. Continuación

Densidad relativa	°BRIX (según NBS)	°BRIX (según regresión polinomial)	% de error
1.3203	65.20	65.13	0.11
1.3209	65.30	65.23	0.11
1.3215	65.40	65.32	0.12
1.3221	65.50	65.42	0.12
1.3227	65.60	65.52	0.13
1.3233	65.70	65.61	0.13
1.3239	65.80	65.71	0.14
1.3246	65.90	65.81	0.14
1.3252	66.00	65.90	0.15
1.3258	66.10	66.00	0.15
1.3264	66.20	66.10	0.16
1.3270	66.30	66.19	0.16
1.3276	66.40	66.29	0.17
1.3282	66.50	66.38	0.18
1.3288	66.60	66.48	0.18
1.3295	66.70	66.59	0.16
1.3301	66.80	66.67	0.19
1.3307	66.90	66.77	0.19

E. Diagrama P&ID

Figura 21. Diagrama P&ID del proceso automatizado

F. Diagramas de flujo

Figura 22. Operación automatizada de la sala de jarabes.

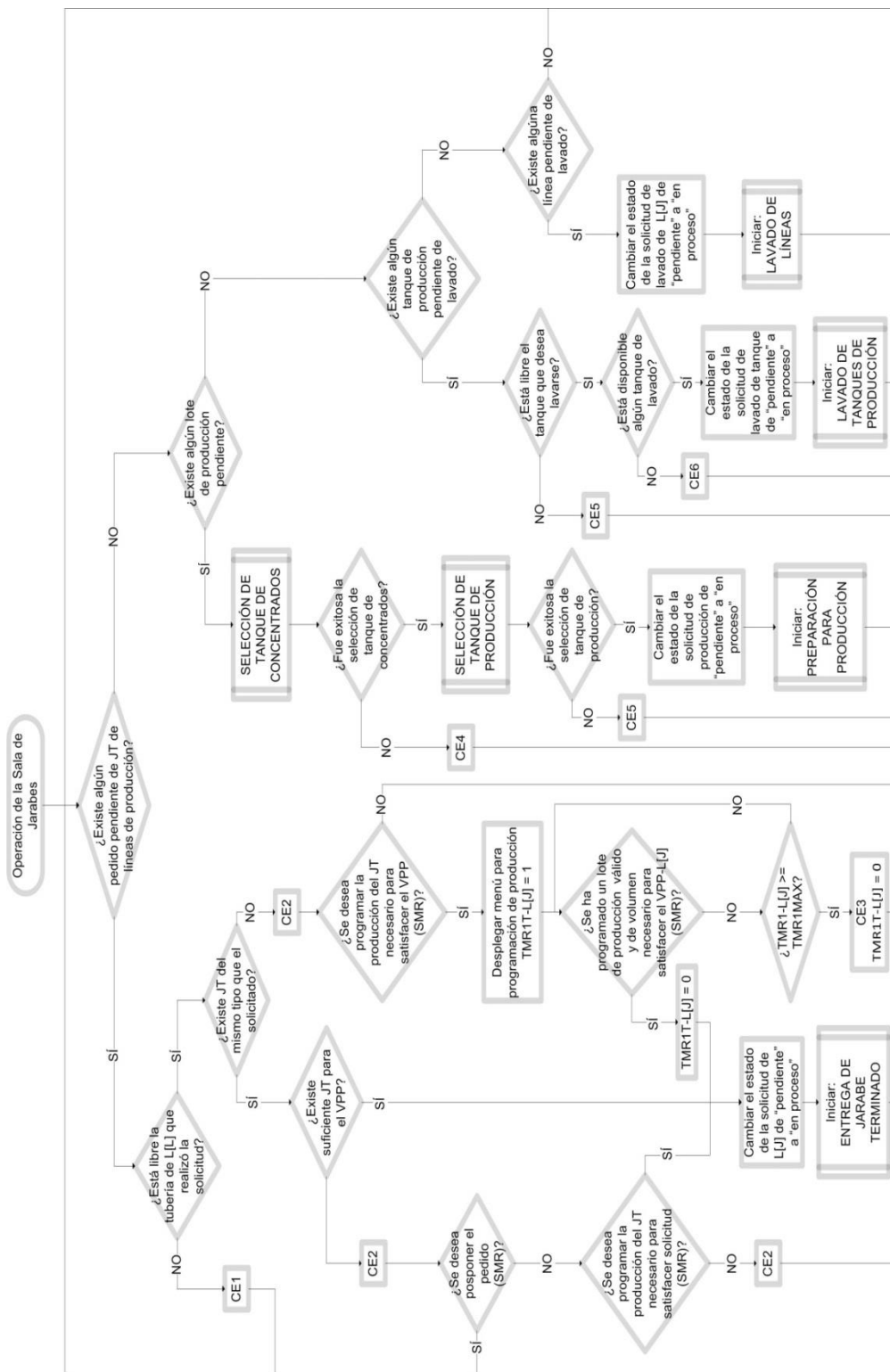


Figura 23. Entrega de jarabe terminado desde tanque TK-[N] a línea de llenado

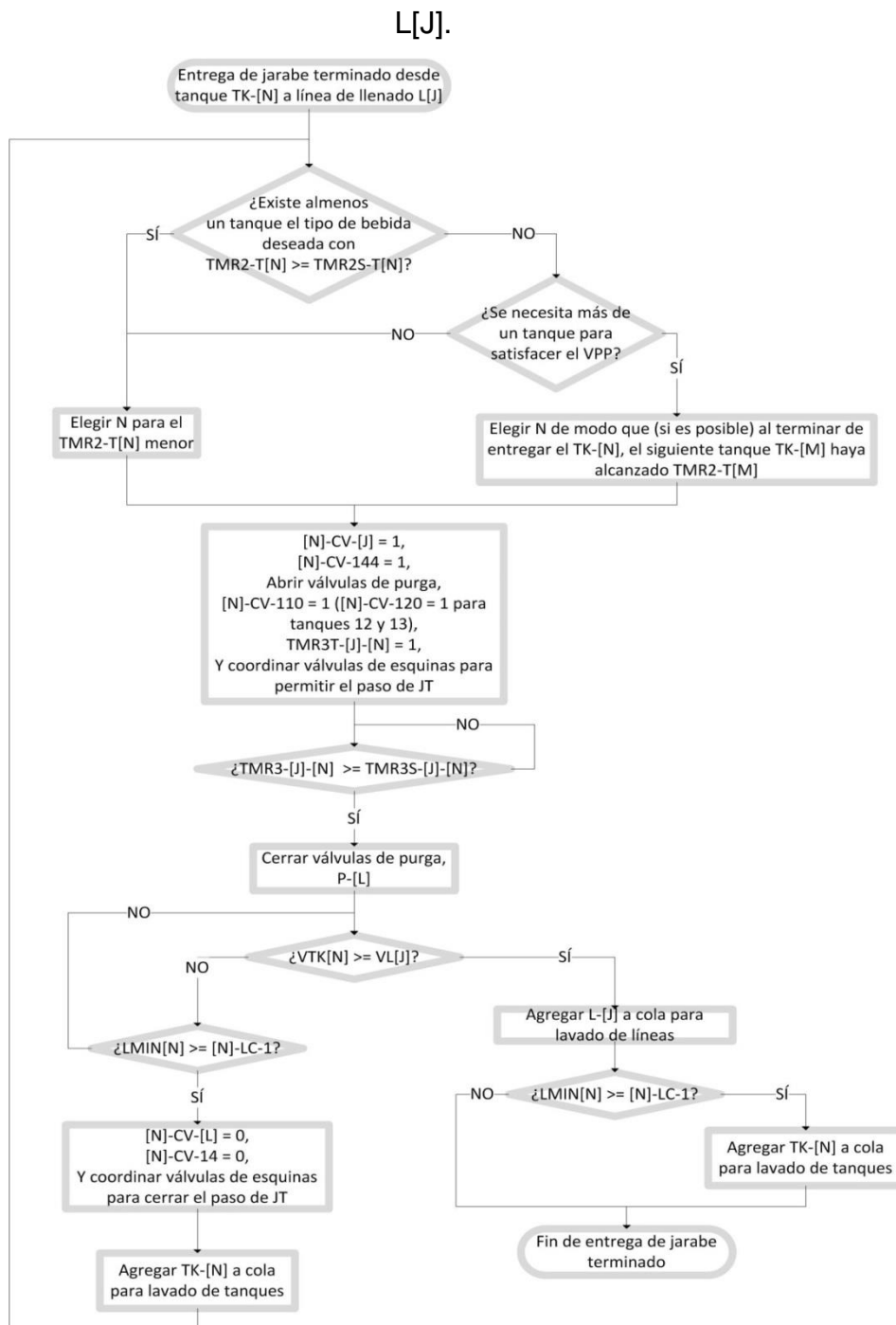


Figura 24. Selección de tanque TK-[N] para la producción de jarabe.

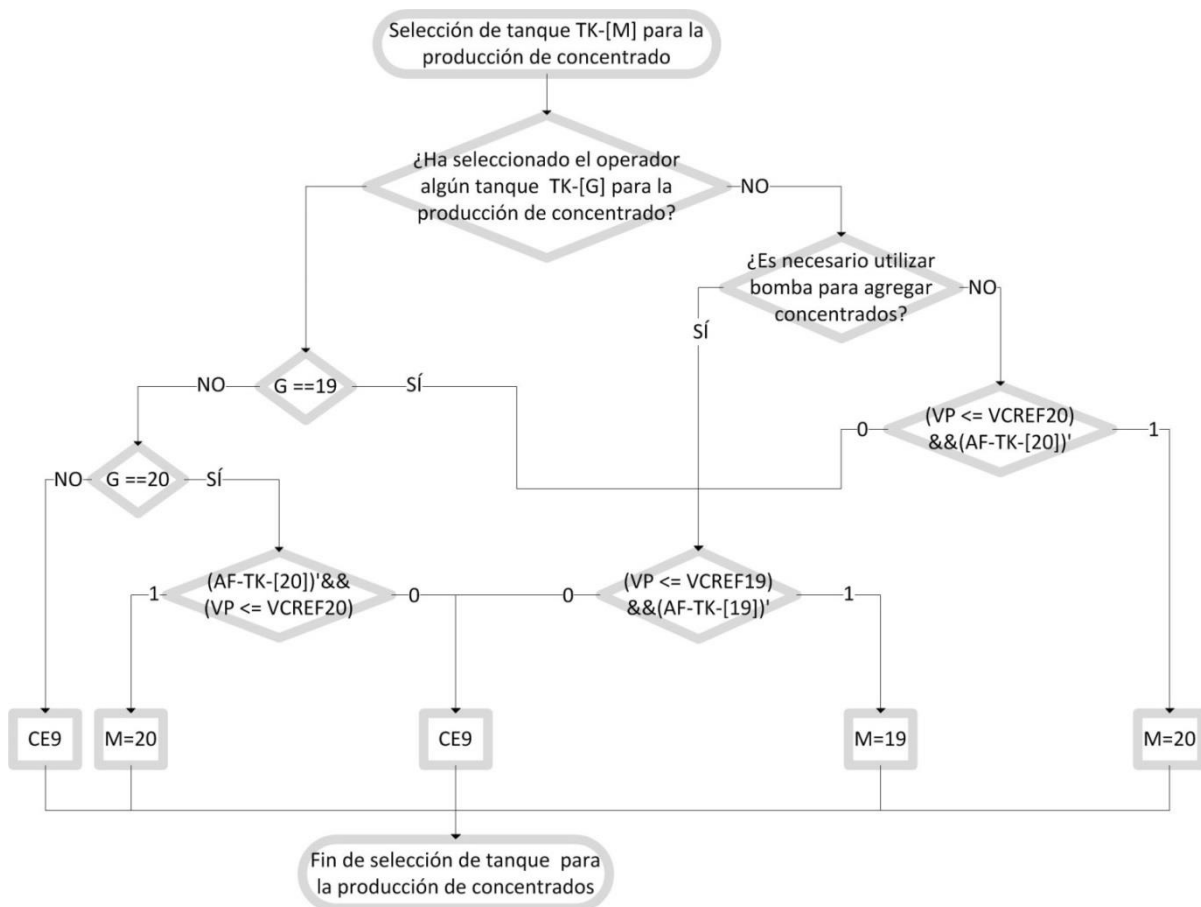


Figura 25. Preparación para producción de jarabe terminado en TK-[N].

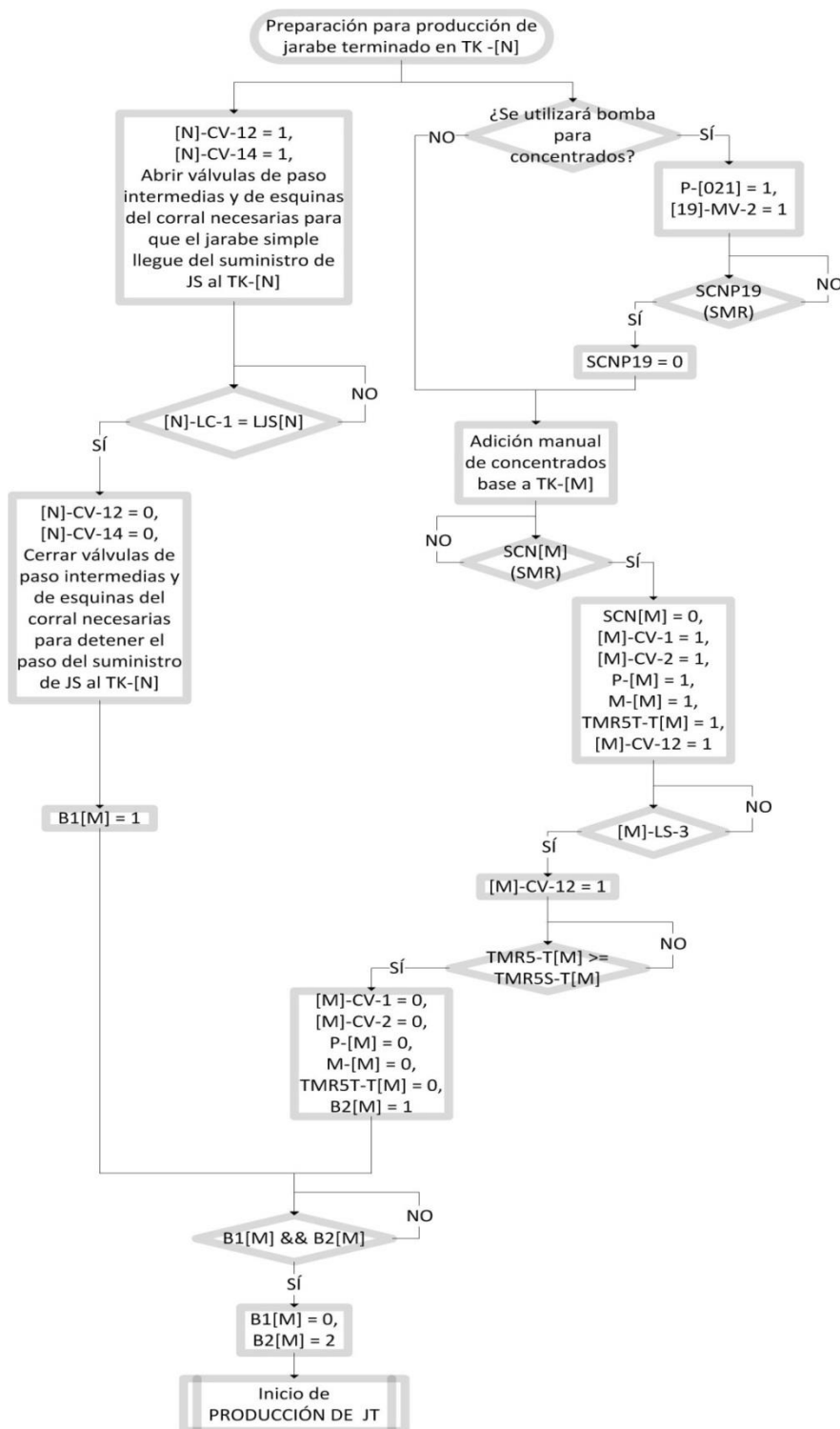


Figura 26. Selección de tanque TK-[M] para la producción de concentrado.

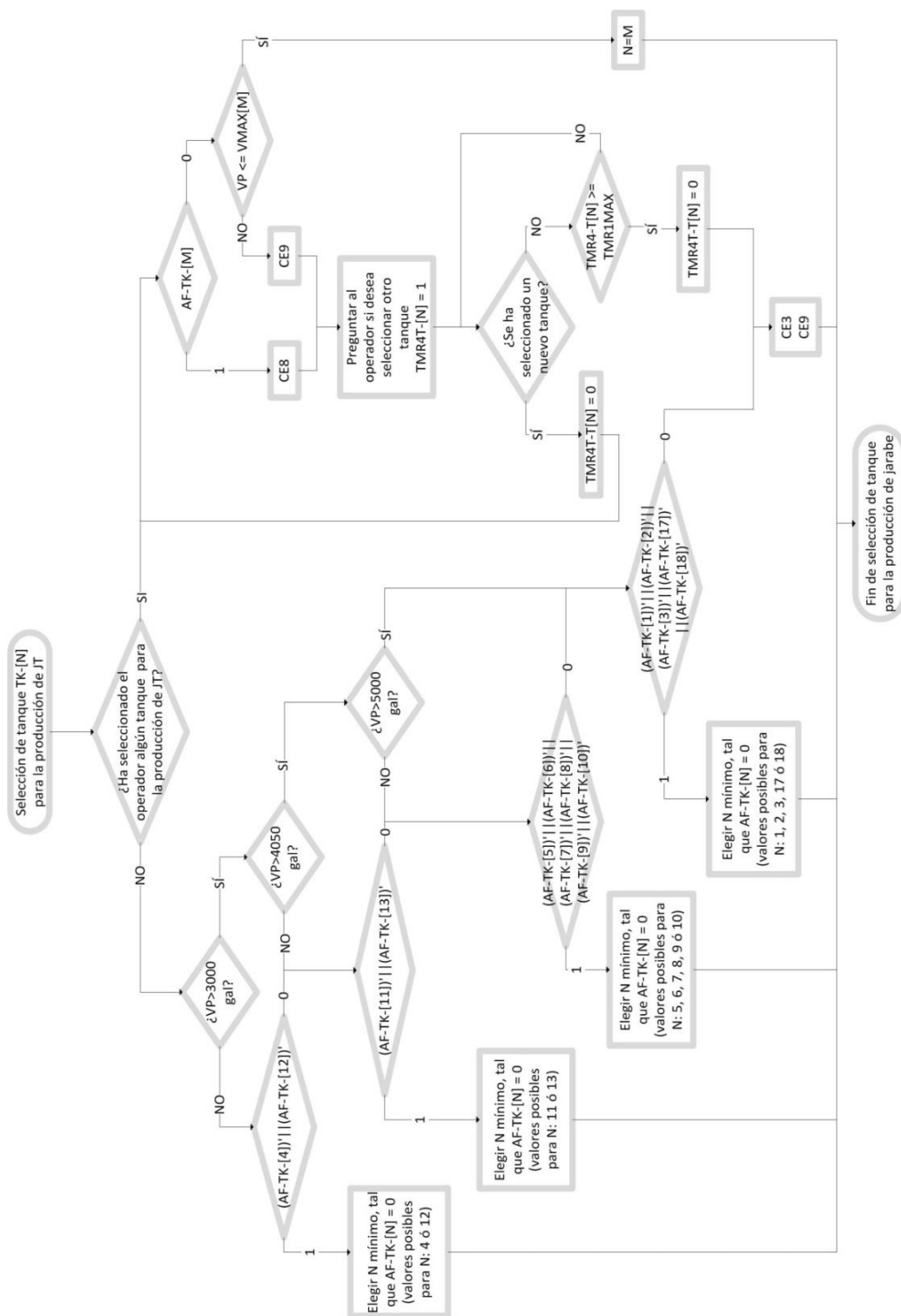


Figura 27. Producción de jarabe terminado en tanque TK-[N], parte 1.

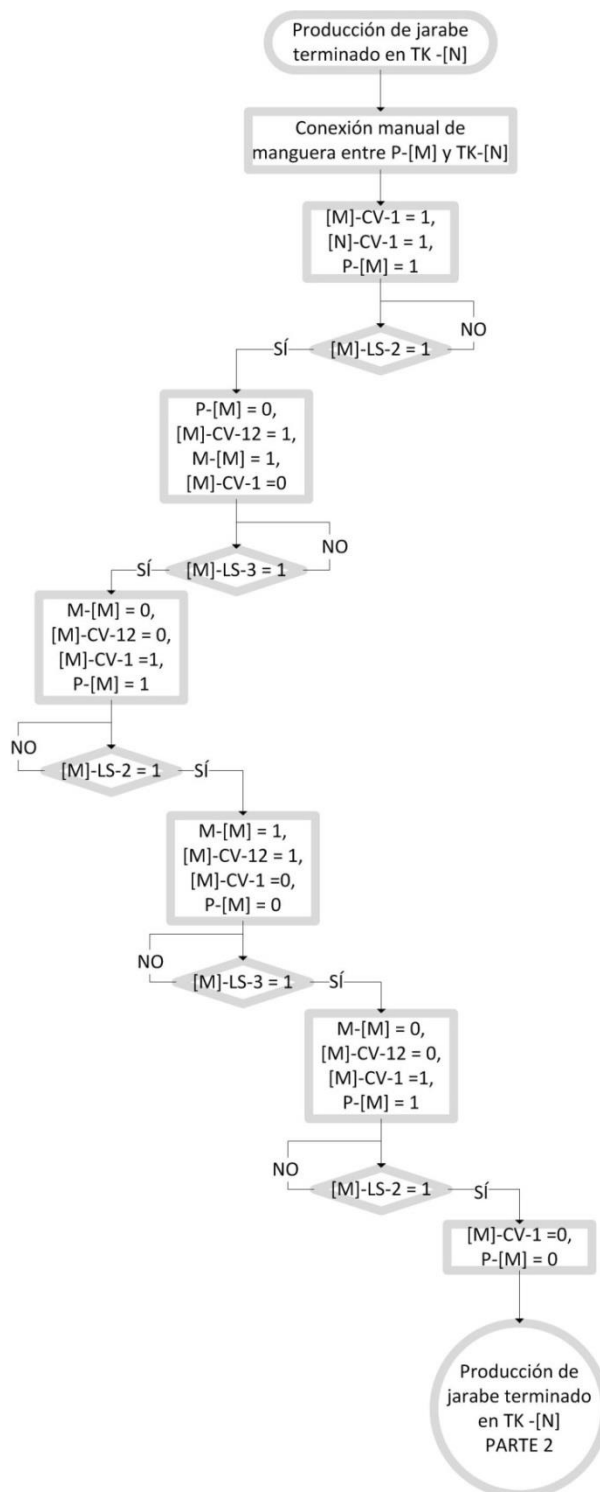


Figura 28. Producción de jarabe terminado en tanque TK-[N], parte 2.

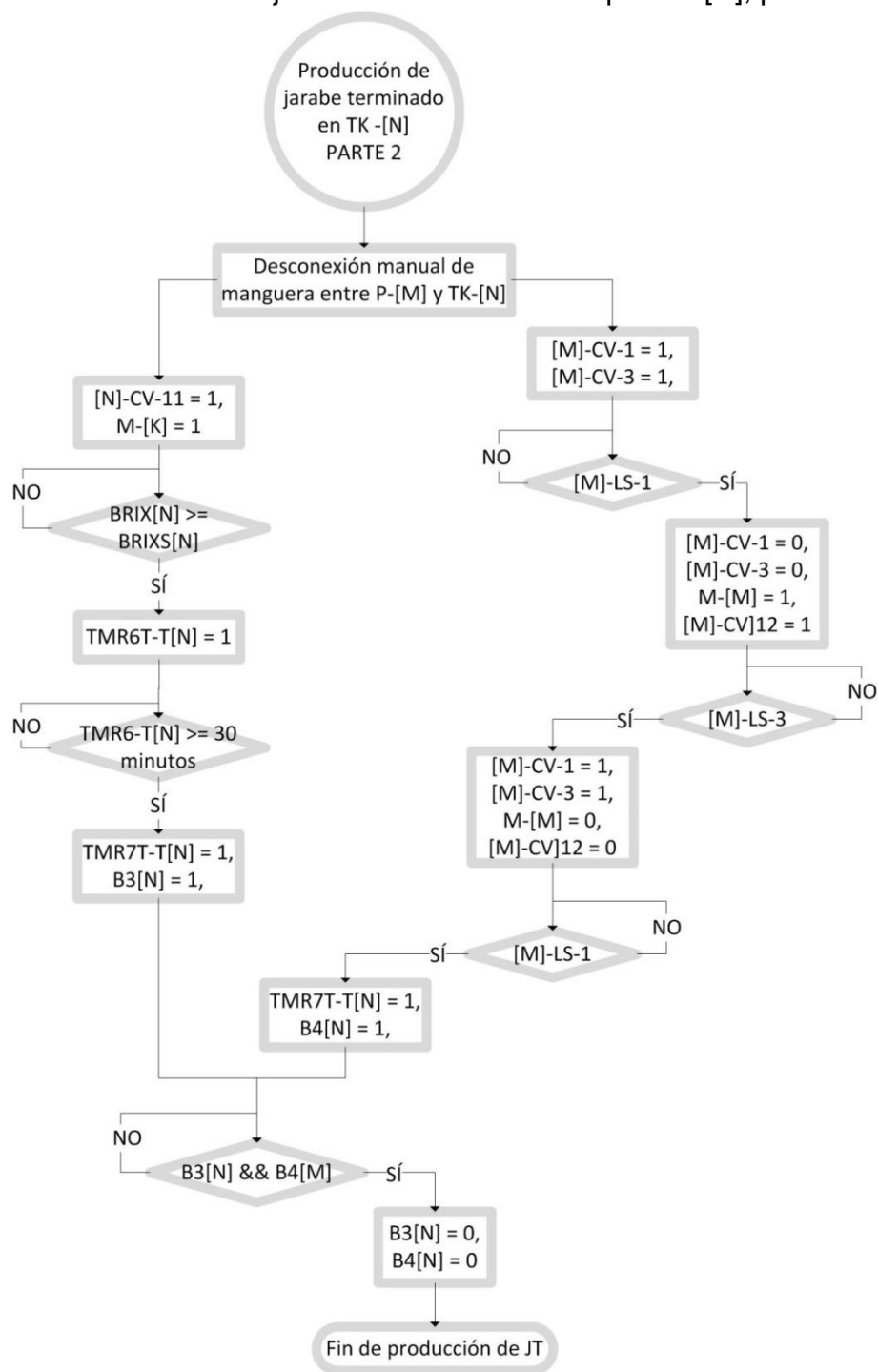


Figura 29. Lavado de tanques de producción.

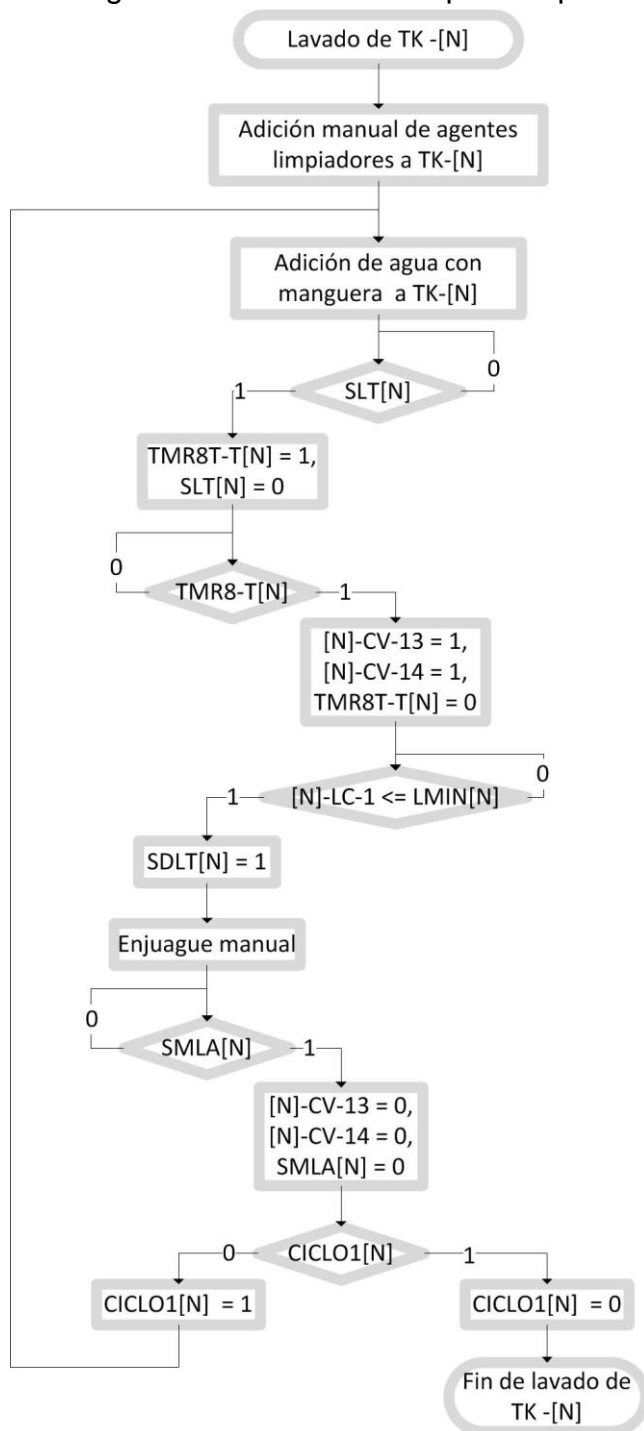
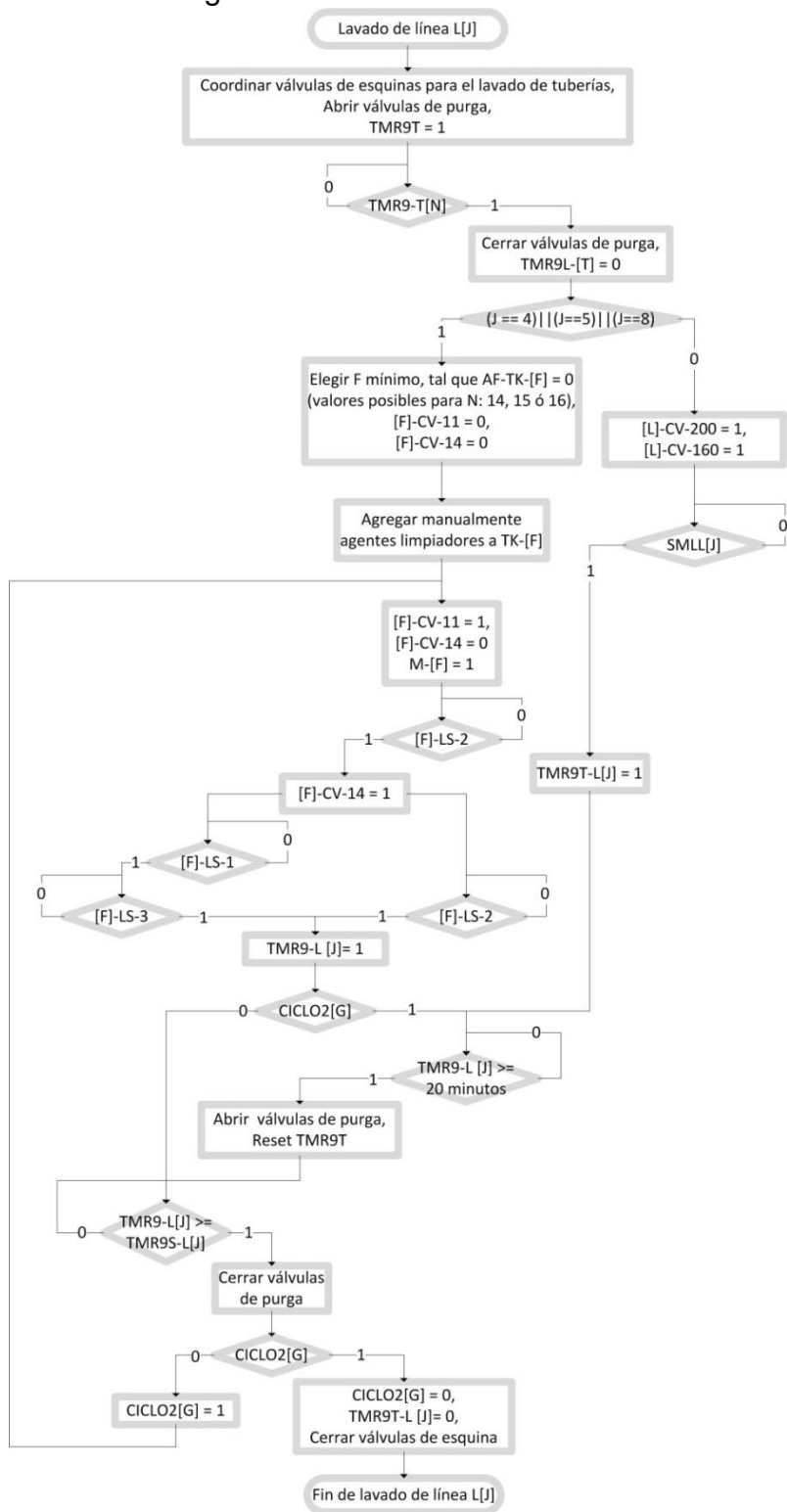


Figura 30. Lavado de líneas



G. Listado y clasificación de señales

Tabla 3. Organización de red de control

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-1	A1	[1]-LT-1 [1]-TT-1	[1]-PT-1	[1]-PT-2
	A2	[2]-LT-1 [2]-TT-1	[2]-PT-1	[2]-PT-2
	A3	[3]-LT-1 [3]-TT-1	[3]-PT-1	[3]-PT-2
	DPO1	[1]-CV-1 [1]-CV-2 [1]-CV-3 [1]-CV-4 [1]-CV-5	[1]-CV-6 [1]-CV-7 [1]-CV-8 [1]-CV-11 [1]-CV-12	[1]-CV-13 [1]-CV-14 [1]-CV-16
	DPO2	[2]-CV-1 [2]-CV-2 [2]-CV-3 [2]-CV-4 [2]-CV-5	[2]-CV-6 [2]-CV-7 [2]-CV-8 [2]-CV-11 [2]-CV-12	[2]-CV-13 [2]-CV-14 [2]-CV-16
	DPO3	[3]-CV-1 [3]-CV-2 [3]-CV-3 [3]-CV-4 [3]-CV-5	[3]-CV-6 [3]-CV-7 [3]-CV-8 [3]-CV-11 [3]-CV-12	[3]-CV-13 [3]-CV-14 [3]-CV-16
	DPO4	[1]-CV-140 [2]-CV-140 [3]-CV-140 [4]-CV-140	[5]-CV-140 [6]-CV-140 [7]-CV-140 [12]-CV-140	[8]-CV-140 [11]-CV-140
	DO1	M-[001]	M-[002]	M-[003]

Tabla 3. Continuación

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-2	A1	[4]-LT-1 [4]-TT-1	[4]-PT-1	[4]-PT-2
	A2	[5]-LT-1 [5]-TT-1	[5]-PT-1	[5]-PT-2
	A3	[6]-LT-1 [6]-TT-1	[6]-PT-1	[6]-PT-2
	DPO1	[4]-CV-1 [4]-CV-2 [4]-CV-3 [4]-CV-4 [4]-CV-5	[4]-CV-6 [4]-CV-7 [4]-CV-8 [4]-CV-11 [4]-CV-12	[4]-CV-13 [4]-CV-14 [4]-CV-16
	DPO2	[5]-CV-1 [5]-CV-2 [5]-CV-3 [5]-CV-4 [5]-CV-5	[5]-CV-6 [5]-CV-7 [5]-CV-8 [5]-CV-11 [5]-CV-12	[5]-CV-13 [5]-CV-14 [5]-CV-16
	DPO3	[6]-CV-1 [6]-CV-2 [6]-CV-3 [6]-CV-4 [6]-CV-5	[6]-CV-6 [6]-CV-7 [6]-CV-8 [6]-CV-11 [6]-CV-12	[6]-CV-13 [6]-CV-14 [6]-CV-16
	DO1	M-[004]	M-[005]	M-[006]

Tabla 3. Continuación

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-3	A1	[7]-LT-1 [7]-TT-1	[7]-PT-1	[7]-PT-2
	A2	[8]-LT-1 [8]-TT-1	[8]-PT-1	[8]-PT-2
	A3	[9]-LT-1 [9]-TT-1	[9]-PT-1	[9]-PT-2
	DPO1	[7]-CV-1 [7]-CV-2 [7]-CV-3 [7]-CV-4 [7]-CV-5	[7]-CV-6 [7]-CV-7 [7]-CV-8 [7]-CV-11 [7]-CV-12	[7]-CV-13 [7]-CV-14 [7]-CV-16
	DPO2	[8]-CV-1 [8]-CV-2 [8]-CV-3 [8]-CV-4 [8]-CV-5	[8]-CV-6 [8]-CV-7 [8]-CV-8 [8]-CV-11 [8]-CV-12	[8]-CV-13 [8]-CV-14 [8]-CV-16
	DPO3	[9]-CV-1 [9]-CV-2 [9]-CV-3 [9]-CV-4 [9]-CV-5	[9]-CV-6 [9]-CV-7 [9]-CV-8 [9]-CV-11 [9]-CV-12	[9]-CV-13 [9]-CV-14 [9]-CV-16
	DO1	M-[007]	M-[008]	M-[009]

Tabla 3. Continuación

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-4	A1	[10]-LT-1 [10]-TT-1	[10]-PT-1	[10]-PT-2
	A2	[11]-LT-1 [11]-TT-1	[11]-PT-1	[11]-PT-2
	DPO1	[10]-CV-1 [10]-CV-2 [10]-CV-3 [10]-CV-4 [10]-CV-5	[10]-CV-6 [10]-CV-7 [10]-CV-8 [10]-CV-11 [10]-CV-12	[10]-CV-13 [10]-CV-14 [10]-CV-16
	DPO2	[11]-CV-1 [11]-CV-2 [11]-CV-3 [11]-CV-4 [11]-CV-5 [11]-CV-6	[11]-CV-7 [11]-CV-8 [11]-CV-11 [11]-CV-12 [11]-CV-13 [11]-CV-14	[1]-CV-110 [1]-CV-120 [2]-CV-120 [2]-CV-130
	DPO3	[3]-CV-110 [3]-CV-120 [4]-CV-110 [4]-CV-120 [5]-CV-110	[5]-CV-120 [6]-CV-110 [6]-CV-120 [7]-CV-110 [7]-CV-120	[7]-CV-110 [7]-CV-120 [8]-CV-110 [8]-CV-120
	DO1	M-[010]	M-[011]	
	DI1	[1]-FC-1 [5]-FC-1 [2]-FC-1	[3]-FC-1 [4]-FC-1 [6]-FC-1	[7]-FC-1 [8]-FC-1

Tabla 3. Continuación

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-5	A1	[12]-LT-1 [12]-TT-1	[12]-PT-1	[12]-PT-2
	A2	[13]-LT-1 [13]-TT-1	[13]-PT-1	[13]-PT-2
	DPO1	[12]-CV-1 [12]-CV-2 [12]-CV-3 [12]-CV-4 [12]-CV-5	[12]-CV-6 [12]-CV-7 [12]-CV-8 [12]-CV-11 [12]-CV-12	[12]-CV-13 [12]-CV-14 [12]-CV-16
	DPO2	[13]-CV-1 [13]-CV-2 [13]-CV-3 [13]-CV-4	[13]-CV-5 [13]-CV-6 [13]-CV-7 [13]-CV-8	[13]-CV-11 [13]-CV-12 [13]-CV-13 [13]-CV-14
	DPO3	[19]-CV-1 [19]-CV-2 [19]-CV-3 [20]-CV-1 [20]-CV-2 [20]-CV-3	[1]-CV-130 [2]-CV-130 [3]-CV-130 [4]-CV-130 [5]-CV-130 [6]-CV-130	[7]-CV-130 [8]-CV-130 [11]-CV-130 [12]-CV-130
	DI1	[19]-LS-1 [20]-LS-1 [19]-LS-2	[20]-LS-2 [19]-LS-3 [20]-LS-3	[19]-CV-12 [20]-CV-12
	DO1	M-[012]	M-[013]	

Tabla 3. Continuación

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-6	A1	[12]-LT-1 [12]-TT-1	[12]-PT-1	[12]-PT-2
	A2	[13]-LT-1 [13]-TT-1	[13]-PT-1	[13]-PT-2
	A3	[13]-LT-1 [13]-TT-1	[13]-PT-1	[13]-PT-2
	DPO1	[17]-CV-1 [17]-CV-2 [17]-CV-3 [17]-CV-4 [17]-CV-5	[17]-CV-6 [17]-CV-7 [17]-CV-8 [17]-CV-11 [17]-CV-12	[17]-CV-13 [17]-CV-14 [17]-CV-16
	DPO2	[18]-CV-1 [18]-CV-2 [18]-CV-3 [18]-CV-4	[18]-CV-5 [18]-CV-6 [18]-CV-7 [18]-CV-8	[18]-CV-11 [18]-CV-12 [18]-CV-13 [18]-CV-14
	DPO3	[1]-CV-170 [2]-CV-170 [3]-CV-170 [4]-CV-170	[5]-CV-170 [6]-CV-170 [7]-CV-170 [8]-CV-170	[11]-CV-170 [12]-CV-170
	DPO4	[1]-CV-180 [2]-CV-180 [3]-CV-180 [4]-CV-180 [5]-CV-180	[6]-CV-180 [7]-CV-180 [8]-CV-180 [11]-CV-180 [12]-CV-180	M-[014] M-[015] M-[016]

Tabla 3. Continuación

Módulo	Submódulo	Componentes		
ET-200-7	A1	[17]-LT-1 [17]-TT-1	[17]-PT-1	[17]-PT-2
	A2	[18]-LT-1 [18]-TT-1	[18]-PT-1	[18]-PT-2
	DPO1	[100]-CV-11 [140]-CV-11 [14]-CV-1 [14]-CV-2 [14]-CV-3	[14]-CV-4 [14]-CV-5 [14]-CV-6 [14]-CV-7 [14]-CV-8	[14]-CV-11 [14]-CV-12 [14]-CV-13 [14]-CV-14 [14]-CV-15
	DPO2	[15]-CV-1 [15]-CV-2 [15]-CV-3 [15]-CV-4 [15]-CV-5	[15]-CV-6 [15]-CV-7 [15]-CV-8 [15]-CV-11 [15]-CV-12	[15]-CV-13 [15]-CV-14 [15]-CV-15
	DPO3	[16]-CV-1 [16]-CV-2 [16]-CV-3 [16]-CV-4 [16]-CV-5	[16]-CV-6 [16]-CV-7 [16]-CV-8 [16]-CV-11 [16]-CV-12	[16]-CV-13 [16]-CV-14 [16]-CV-15 [4]-CV-200
	DPO4	[11]-CV-160 [12]-CV-160 [1]-CV-160 [2]-CV-160 [3]-CV-160	[4]-CV-160 [5]-CV-160 [6]-CV-160 [7]-CV-160 [8]-CV-160	[11]-CV-160 [12]-CV-160 [5]-CV-200 [6]-CV-200
	DO1	M-[017]	M-[018]	
	DI1	[14]-LS-1 [15]-LS-3 [14]-LS-2	[16]-LS-1 [14]-LS-3 [16]-LS-2	[15]-LS-1 [16]-LS-3 [15]-LS-2

Tabla 4. Válvulas de control con su respectivo submódulo de conexión.

Nombre	Sub Módulo de conexión	Nombre	Sub Módulo de conexión
[1]-CV-1	ET200-1-DPO1	[3]-CV-4	ET200-1-DPO3
[1]-CV-2	ET200-1-DPO1	[3]-CV-5	ET200-1-DPO3
[1]-CV-3	ET200-1-DPO1	[3]-CV-6	ET200-1-DPO3
[1]-CV-4	ET200-1-DPO1	[3]-CV-7	ET200-1-DPO3
[1]-CV-5	ET200-1-DPO1	[3]-CV-8	ET200-1-DPO3
[1]-CV-6	ET200-1-DPO1	[3]-CV-11	ET200-1-DPO3
[1]-CV-7	ET200-1-DPO1	[3]-CV-12	ET200-1-DPO3
[1]-CV-8	ET200-1-DPO1	[3]-CV-13	ET200-1-DPO3
[1]-CV-11	ET200-1-DPO1	[3]-CV-14	ET200-1-DPO3
[1]-CV-12	ET200-1-DPO1	[3]-CV-16	ET200-1-DPO3
[1]-CV-13	ET200-1-DPO1	[1]-CV-140	ET200-1-DPO4
[1]-CV-14	ET200-1-DPO1	[2]-CV-140	ET200-1-DPO4
[1]-CV-16	ET200-1-DPO1	[3]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-1	ET200-1-DPO2	[4]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-11	ET200-1-DPO2	[5]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-2	ET200-1-DPO2	[6]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-3	ET200-1-DPO2	[7]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-4	ET200-1-DPO2	[8]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-5	ET200-1-DPO2	[11]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-6	ET200-1-DPO2	[12]-CV-140	ET200-1-DPO4
[2]-CV-7	ET200-1-DPO2	[4]-CV-1	ET200-2-DPO1
[2]-CV-8	ET200-1-DPO2	[4]-CV-2	ET200-2-DPO1
[2]-CV-12	ET200-1-DPO2	[4]-CV-3	ET200-2-DPO1
[2]-CV-13	ET200-1-DPO2	[4]-CV-4	ET200-2-DPO1
[2]-CV-14	ET200-1-DPO2	[4]-CV-5	ET200-2-DPO1
[2]-CV-16	ET200-1-DPO2	[4]-CV-6	ET200-2-DPO1
[3]-CV-1	ET200-1-DPO3	[4]-CV-7	ET200-2-DPO1
[3]-CV-2	ET200-1-DPO3	[4]-CV-8	ET200-2-DPO1
[3]-CV-3	ET200-1-DPO3	[4]-CV-11	ET200-2-DPO1

Tabla 4. Continuación

Nombre	Sub Módulo de conexión	Nombre	Sub Módulo de conexión
[4]-CV-12	ET200-2-DPO1	[6]-CV-13	ET200-2-DPO3
[4]-CV-13	ET200-2-DPO1	[6]-CV-14	ET200-2-DPO3
[4]-CV-14	ET200-2-DPO1	[6]-CV-16	ET200-2-DPO3
[4]-CV-16	ET200-2-DPO1	[7]-CV-1	ET200-3-DPO1
[5]-CV-1	ET200-2-DPO2	[7]-CV-2	ET200-3-DPO1
[5]-CV-2	ET200-2-DPO2	[7]-CV-3	ET200-3-DPO1
[5]-CV-3	ET200-2-DPO2	[7]-CV-4	ET200-3-DPO1
[5]-CV-4	ET200-2-DPO2	[7]-CV-5	ET200-3-DPO1
[5]-CV-5	ET200-2-DPO2	[7]-CV-6	ET200-3-DPO1
[5]-CV-6	ET200-2-DPO2	[7]-CV-7	ET200-3-DPO1
[5]-CV-7	ET200-2-DPO2	[7]-CV-8	ET200-3-DPO1
[5]-CV-8	ET200-2-DPO2	[7]-CV-11	ET200-3-DPO1
[5]-CV-11	ET200-2-DPO2	[7]-CV-12	ET200-3-DPO1
[5]-CV-12	ET200-2-DPO2	[7]-CV-13	ET200-3-DPO1
[5]-CV-13	ET200-2-DPO2	[7]-CV-14	ET200-3-DPO1
[5]-CV-14	ET200-2-DPO2	[7]-CV-16	ET200-3-DPO1
[5]-CV-16	ET200-2-DPO2	[8]-CV-1	ET200-3-DPO2
[6]-CV-1	ET200-2-DPO3	[8]-CV-2	ET200-3-DPO2
[6]-CV-2	ET200-2-DPO3	[8]-CV-3	ET200-3-DPO2
[6]-CV-3	ET200-2-DPO3	[8]-CV-4	ET200-3-DPO2
[6]-CV-4	ET200-2-DPO3	[8]-CV-5	ET200-3-DPO2
[6]-CV-5	ET200-2-DPO3	[8]-CV-6	ET200-3-DPO2
[6]-CV-6	ET200-2-DPO3	[8]-CV-7	ET200-3-DPO2
[6]-CV-7	ET200-2-DPO3	[8]-CV-8	ET200-3-DPO2
[6]-CV-8	ET200-2-DPO3	[8]-CV-11	ET200-3-DPO2
[6]-CV-11	ET200-2-DPO3	[8]-CV-12	ET200-3-DPO2
[6]-CV-12	ET200-2-DPO3	[8]-CV-13	ET200-3-DPO2

Tabla 4. Continuación

Nombre	Sub Módulo de conexión	Nombre	Sub Módulo de conexión
[8]-CV-14	ET200-3-DPO2	[10]-CV-5	ET200-4-DPO1
[8]-CV-16	ET200-3-DPO2	[10]-CV-6	ET200-4-DPO1
[9]-CV-1	ET200-3-DPO3	[10]-CV-7	ET200-4-DPO1
[9]-CV-2	ET200-3-DPO3	[10]-CV-8	ET200-4-DPO1
[9]-CV-3	ET200-3-DPO3	[10]-CV-11	ET200-4-DPO1
[9]-CV-4	ET200-3-DPO3	[10]-CV-12	ET200-4-DPO1
[9]-CV-5	ET200-3-DPO3	[10]-CV-13	ET200-4-DPO1
[9]-CV-6	ET200-3-DPO3	[10]-CV-14	ET200-4-DPO1
[9]-CV-7	ET200-3-DPO3	[10]-CV-16	ET200-4-DPO1
[9]-CV-8	ET200-3-DPO3	[11]-CV-1	ET200-4-DPO2
[9]-CV-11	ET200-3-DPO3	[11]-CV-2	ET200-4-DPO2
[9]-CV-12	ET200-3-DPO3	[11]-CV-3	ET200-4-DPO2
[9]-CV-13	ET200-3-DPO3	[11]-CV-4	ET200-4-DPO2
[9]-CV-14	ET200-3-DPO3	[11]-CV-5	ET200-4-DPO2
[9]-CV-16	ET200-3-DPO3	[11]-CV-6	ET200-4-DPO2
[10]-CV-1	ET200-4-DPO1	[11]-CV-7	ET200-4-DPO2
[10]-CV-2	ET200-4-DPO1	[11]-CV-8	ET200-4-DPO2
[10]-CV-3	ET200-4-DPN1	[11]-CV-11	ET200-4-DPO2
[10]-CV-4	ET200-4-DPN1	[11]-CV-12	ET200-4-DPO2
[10]-CV-5	ET200-4-DPN1	[11]-CV-13	ET200-4-DPO2
[10]-CV-6	ET200-4-DPN1	[11]-CV-14	ET200-4-DPO2
[10]-CV-7	ET200-4-DPO1	[1]-CV-110	ET200-4-DPO2
[10]-CV-8	ET200-4-DPO1	[1]-CV-120	ET200-4-DPO2
[10]-CV-1	ET200-4-DPO1	[2]-CV-120	ET200-4-DPO2
[10]-CV-2	ET200-4-DPO1	[2]-CV-130	ET200-4-DPO2
[10]-CV-3	ET200-4-DPO1	[3]-CV-110	ET200-4-DPO3
[10]-CV-4	ET200-4-DPO1	[3]-CV-120	ET200-4-DPO3

Tabla 4. Continuación

Nombre	Sub Módulo de conexión	Nombre	Sub Módulo de conexión
[4]-CV-110	ET200-4-DPO3	[12]-CV-13	ET200-5-DPO1
[4]-CV-120	ET200-4-DPO3	[12]-CV-14	ET200-5-DPO1
[5]-CV-110	ET200-4-DPO3	[12]-CV-16	ET200-5-DPO1
[5]-CV-120	ET200-4-DPO3	[13]-CV-1	ET200-5-DPO2
[10]-CV-1	ET200-4-DPO1	[13]-CV-2	ET200-5-DPO2
[10]-CV-2	ET200-4-DPO1	[13]-CV-3	ET200-5-DPO2
[10]-CV-3	ET200-4-DPO1	[13]-CV-4	ET200-5-DPO2
[6]-CV-110	ET200-4-DPO3	[13]-CV-5	ET200-5-DPO2
[6]-CV-120	ET200-4-DPO3	[13]-CV-6	ET200-5-DPO2
[7]-CV-110	ET200-4-DPO3	[13]-CV-7	ET200-5-DPO2
[7]-CV-120	ET200-4-DPO3	[13]-CV-8	ET200-5-DPO2
[8]-CV-110	ET200-4-DPO3	[13]-CV-11	ET200-5-DPO2
[8]-CV-120	ET200-4-DPO3	[13]-CV-12	ET200-5-DPO2
[7]-CV-110	ET200-4-DPO3	[13]-CV-13	ET200-5-DPO2
[7]-CV-120	ET200-4-DPO3	[13]-CV-14	ET200-5-DPO2
[8]-CV-110	ET200-4-DPO3	[6]-CV-110	ET200-4-DPO3
[8]-CV-120	ET200-4-DPO3	[6]-CV-120	ET200-4-DPO3
[12]-CV-1	ET200-5-DPO1	[7]-CV-110	ET200-4-DPO3
[12]-CV-2	ET200-5-DPO1	[19]-CV-1	ET200-5-DPO3
[12]-CV-3	ET200-5-DPO1	[19]-CV-2	ET200-5-DPO3
[12]-CV-4	ET200-5-DPO1	[19]-CV-3	ET200-5-DPO3
[12]-CV-5	ET200-5-DPO1	[20]-CV-1	ET200-5-DPO3
[12]-CV-6	ET200-5-DPO1	[20]-CV-2	ET200-5-DPO3
[12]-CV-7	ET200-5-DPO1	[20]-CV-3	ET200-5-DPO3
[12]-CV-8	ET200-5-DPO1	[1]-CV-130	ET200-5-DPO3
[12]-CV-11	ET200-5-DPO1	[2]-CV-130	ET200-5-DPO3
[12]-CV-12	ET200-5-DPO1	[3]-CV-130	ET200-5-DPO3

Tabla 4. Continuación

Nombre	Sub Módulo de conexión	Nombre	Sub Módulo de conexión
[4]-CV-130	ET200-5-DPO3	[19]-CV-2	ET200-5-DPO3
[5]-CV-130	ET200-5-DPO3	[19]-CV-3	ET200-5-DPO3
[6]-CV-130	ET200-5-DPO3	[18]-CV-7	ET200-6-DPO2
[7]-CV-130	ET200-5-DPO3	[18]-CV-8	ET200-6-DPO2
[8]-CV-130	ET200-5-DPO3	[18]-CV-11	ET200-6-DPO2
[11]-CV-130	ET200-5-DPO3	[18]-CV-12	ET200-6-DPO2
[12]-CV-130	ET200-5-DPO3	[18]-CV-13	ET200-6-DPO2
[17]-CV-1	ET200-6-DPO1	[18]-CV-14	ET200-6-DPO2
[17]-CV-2	ET200-6-DPO1	[1]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-3	ET200-6-DPO1	[2]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-4	ET200-6-DPO1	[3]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-5	ET200-6-DPO1	[4]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-6	ET200-6-DPO1	[5]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-7	ET200-6-DPO1	[6]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-8	ET200-6-DPO1	[7]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-11	ET200-6-DPO1	[8]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-12	ET200-6-DPO1	[11]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-13	ET200-6-DPO1	[12]-CV-170	ET200-6-DPO3
[17]-CV-14	ET200-6-DPO1	[1]-CV-180	ET200-6-DPO4
[17]-CV-16	ET200-6-DPO1	[2]-CV-180	ET200-6-DPO4
[18]-CV-1	ET200-6-DPO2	[3]-CV-180	ET200-6-DPO4
[18]-CV-2	ET200-6-DPO2	[4]-CV-180	ET200-6-DPO4
[18]-CV-3	ET200-6-DPO2	[5]-CV-180	ET200-6-DPO4
[18]-CV-4	ET200-6-DPO2	[6]-CV-180	ET200-6-DPO4
[18]-CV-5	ET200-6-DPO2	[7]-CV-180	ET200-6-DPO4
[18]-CV-6	ET200-6-DPO2	[8]-CV-180	ET200-6-DPO4
[19]-CV-1	ET200-5-DPO3	[11]-CV-180	ET200-6-DPO4

Tabla 4. Continuación

Nombre	Sub Módulo de conexión	Nombre	Sub Módulo de conexión
[12]-CV-180	ET200-6-DPO4	[15]-CV-13	ET200-7-DPO2
[100]-CV-11	ET200-7-DPO1	[15]-CV-14	ET200-7-DPO2
[140]-CV-11	ET200-7-DPO1	[15]-CV-15	ET200-7-DPO2
[14]-CV-1	ET200-7-DPO1	[16]-CV-1	ET200-7-DPO3
[14]-CV-2	ET200-7-DPO1	[16]-CV-2	ET200-7-DPO3
[14]-CV-3	ET200-7-DPO1	[16]-CV-3	ET200-7-DPO3
[14]-CV-4	ET200-7-DPO1	[16]-CV-4	ET200-7-DPO3
[14]-CV-5	ET200-7-DPO1	[16]-CV-5	ET200-7-DPO3
[14]-CV-6	ET200-7-DPO1	[16]-CV-6	ET200-7-DPO3
[14]-CV-7	ET200-7-DPO1	[16]-CV-7	ET200-7-DPO3
[14]-CV-8	ET200-7-DPO1	[16]-CV-8	ET200-7-DPO3
[14]-CV-11	ET200-7-DPO1	[16]-CV-11	ET200-7-DPO3
[14]-CV-12	ET200-7-DPO1	[16]-CV-12	ET200-7-DPO3
[14]-CV-13	ET200-7-DPO1	[16]-CV-13	ET200-7-DPO3
[14]-CV-14	ET200-7-DPO1	[16]-CV-14	ET200-7-DPO3
[14]-CV-15	ET200-7-DPO1	[16]-CV-15	ET200-7-DPO3
[15]-CV-1	ET200-7-DPO2	[1]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-2	ET200-7-DPO2	[2]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-3	ET200-7-DPO2	[3]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-4	ET200-7-DPO2	[4]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-5	ET200-7-DPO2	[5]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-6	ET200-7-DPO2	[6]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-7	ET200-7-DPO2	[7]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-8	ET200-7-DPO2	[8]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-11	ET200-7-DPO2	[11]-CV-180	ET200-7-DPO4
[15]-CV-12	ET200-7-DPO2	[12]-CV-180	ET200-7-DPO4

H. Cuantificación de equipo

Tabla 5. Listado de módulos ET200

Módulos ET200
ET200-1
ET200-2
ET200-3
ET200-4
ET200-5
ET200-6
ET200-7

Tabla 6. Listado de sub módulos ET200

Submódulos para ET200		
ET200-1-AI3	ET200-3-DO1	ET200-5-DPO1
ET200-1-DO1	ET200-3-DPO1	ET200-5-DPO2
ET200-1-DPO1	ET200-3-DPO2	ET200-5-DPN3
ET200-1-DPO2	ET200-3-DPO3	ET200-6-AI1
ET200-1-DPO3	ET200-4-AI1	ET200-6-AI2
ET200-1-DPO4	ET200-4-AI2	ET200-6-DO1
ET200-2-AI1	ET200-4-DI1	ET200-6-DPO1
ET200-2-AI2	ET200-4-DO1	ET200-6-DPO2
ET200-2-AI3	ET200-4-DO1	ET200-6-DPO3
ET200-2-DO1	ET200-4-DPO1	ET200-6-DPO4
ET200-2-DPO1	ET200-4-DPO2	ET200-7-DI1
ET200-2-DPO2	ET200-4-DPO3	ET200-7-DO1
ET200-2-DPO3	ET200-5-AI1	ET200-7-DPO1
ET200-3-AI1	ET200-5-AI2	ET200-7-DPO2
ET200-3-AI2	ET200-5DI1	ET200-7-DPO3
ET200-3-AI3	ET200-5-DO1	ET200-7-DPO4

Tabla 7. Listado de válvulas de control.

Válvulas de control con accionamiento neumático					
[1]-CV-1	[3]-CV-6	[5]-CV-1	[7]-CV-6	[9]-CV-13	[2]-CV-130
[1]-CV-2	[3]-CV-7	[5]-CV-2	[7]-CV-7	[9]-CV-14	[3]-CV-110
[1]-CV-3	[3]-CV-8	[5]-CV-3	[7]-CV-8	[9]-CV-16	[3]-CV-120
[1]-CV-4	[3]-CV-11	[5]-CV-4	[7]-CV-11	[10]-CV-1	[4]-CV-110
[1]-CV-5	[3]-CV-12	[5]-CV-5	[7]-CV-12	[10]-CV-2	[4]-CV-120
[1]-CV-6	[3]-CV-13	[5]-CV-6	[7]-CV-13	[10]-CV-3	[5]-CV-110
[1]-CV-7	[3]-CV-14	[5]-CV-7	[7]-CV-14	[10]-CV-4	[5]-CV-120
[1]-CV-8	[3]-CV-16	[5]-CV-8	[7]-CV-16	[10]-CV-5	[6]-CV-110
[1]-CV-11	[1]-CV-140	[5]-CV-11	[8]-CV-1	[10]-CV-6	[6]-CV-120
[1]-CV-12	[2]-CV-140	[5]-CV-12	[8]-CV-2	[10]-CV-7	[7]-CV-110
[1]-CV-13	[3]-CV-140	[5]-CV-13	[8]-CV-3	[10]-CV-8	[7]-CV-120
[1]-CV-14	[4]-CV-140	[5]-CV-14	[8]-CV-4	[10]-CV-11	[8]-CV-110
[1]-CV-16	[5]-CV-140	[5]-CV-16	[8]-CV-5	[10]-CV-12	[8]-CV-120
[2]-CV-1	[6]-CV-140	[6]-CV-1	[8]-CV-6	[10]-CV-13	[7]-CV-110
[2]-CV-11	[7]-CV-140	[6]-CV-2	[8]-CV-7	[10]-CV-14	[7]-CV-120
[2]-CV-2	[8]-CV-140	[6]-CV-3	[8]-CV-8	[10]-CV-16	[8]-CV-110
[2]-CV-3	[11]-CV-140	[6]-CV-4	[8]-CV-11	[11]-CV-1	[8]-CV-120
[2]-CV-4	[12]-CV-140	[6]-CV-5	[8]-CV-12	[11]-CV-2	[12]-CV-1
[2]-CV-5	[4]-CV-1	[6]-CV-6	[8]-CV-13	[11]-CV-3	[12]-CV-2
[2]-CV-6	[4]-CV-2	[6]-CV-7	[8]-CV-14	[11]-CV-4	[12]-CV-3
[2]-CV-7	[4]-CV-3	[6]-CV-8	[8]-CV-16	[11]-CV-5	[12]-CV-4
[2]-CV-8	[4]-CV-4	[6]-CV-11	[9]-CV-1	[11]-CV-6	[12]-CV-5
[2]-CV-12	[4]-CV-5	[6]-CV-12	[9]-CV-2	[11]-CV-7	[12]-CV-6
[2]-CV-13	[4]-CV-6	[6]-CV-13	[9]-CV-3	[11]-CV-8	[12]-CV-7
[2]-CV-14	[4]-CV-7	[6]-CV-14	[9]-CV-4	[11]-CV-11	[12]-CV-8
[2]-CV-16	[4]-CV-8	[6]-CV-16	[9]-CV-5	[11]-CV-12	[12]-CV-11
[3]-CV-1	[4]-CV-11	[7]-CV-1	[9]-CV-6	[11]-CV-13	[12]-CV-12
[3]-CV-2	[4]-CV-12	[7]-CV-2	[9]-CV-7	[11]-CV-14	[12]-CV-13
[3]-CV-3	[4]-CV-13	[7]-CV-3	[9]-CV-8	[1]-CV-110	[12]-CV-14
[3]-CV-4	[4]-CV-14	[7]-CV-4	[9]-CV-11	[1]-CV-120	[12]-CV-16
[3]-CV-5	[4]-CV-16	[7]-CV-5	[9]-CV-12	[2]-CV-120	[13]-CV-1

Tabla7. Continuación

Válvulas de control con accionamiento neumático					
[13]-CV-2	[6]-CV-130	[18]-CV-6	[6]-CV-180	[15]-CV-3	[16]-CV-14
[13]-CV-3	[7]-CV-130	[18]-CV-7	[7]-CV-180	[15]-CV-4	[16]-CV-15
[13]-CV-4	[8]-CV-130	[18]-CV-8	[8]-CV-180	[15]-CV-5	[11]-CV-160
[13]-CV-5	[11]-CV-130	[18]-CV-11	[11]-CV-180	[15]-CV-6	[12]-CV-160
[13]-CV-6	[12]-CV-130	[18]-CV-12	[12]-CV-180	[15]-CV-7	[1]-CV-160
[13]-CV-7	[17]-CV-1	[18]-CV-13	[100]-CV-11	[15]-CV-8	[2]-CV-160
[13]-CV-8	[17]-CV-2	[18]-CV-14	[140]-CV-11	[15]-CV-11	[3]-CV-160
[13]-CV-11	[17]-CV-3	[1]-CV-170	[14]-CV-1	[15]-CV-12	[4]-CV-160
[13]-CV-12	[17]-CV-4	[2]-CV-170	[14]-CV-2	[15]-CV-13	[5]-CV-160
[13]-CV-13	[17]-CV-5	[3]-CV-170	[14]-CV-3	[15]-CV-14	[6]-CV-160
[13]-CV-14	[17]-CV-6	[4]-CV-170	[14]-CV-4	[15]-CV-15	[7]-CV-160
[19]-CV-1	[17]-CV-8	[5]-CV-170	[14]-CV-5	[16]-CV-1	[8]-CV-160
[19]-CV-2	[17]-CV-11	[6]-CV-170	[14]-CV-6	[16]-CV-2	[11]-CV-160
[19]-CV-3	[17]-CV-12	[7]-CV-170	[14]-CV-7	[16]-CV-3	[12]-CV-160
[20]-CV-1	[17]-CV-13	[8]-CV-170	[14]-CV-8	[16]-CV-4	[4]-CV-200
[20]-CV-2	[17]-CV-14	[11]-CV-170	[14]-CV-11	[16]-CV-5	[5]-CV-200
[20]-CV-3	[17]-CV-16	[12]-CV-170	[14]-CV-12	[16]-CV-6	[6]-CV-200
[1]-CV-130	[18]-CV-1	[1]-CV-180	[14]-CV-13	[16]-CV-7	[19]-CV-12
[2]-CV-130	[18]-CV-2	[2]-CV-180	[14]-CV-14	[16]-CV-8	[20]-CV-12
[3]-CV-130	[18]-CV-3	[3]-CV-180	[14]-CV-15	[16]-CV-11	
[4]-CV-130	[18]-CV-4	[4]-CV-180	[15]-CV-1	[16]-CV-12	
[5]-CV-130	[18]-CV-5	[5]-CV-180	[15]-CV-2	[16]-CV-13	

Tabla 8. Listado de transductores.

Nivel	Presión	Temperatura	Flujo	Interruptores de nivel
[1]-LT-1	[1]-PT-1	[1]-TT-1	[1]-FT-1	[14]-LS-1
[2]-LT-1	[1]-PT-2	[2]-TT-1	[2]-FT-1	[14]-LS-2
[3]-LT-1	[2]-PT-1	[3]-TT-1	[3]-FT-1	[14]-LS-3
[4]-LT-1	[2]-PT-2	[4]-TT-1	[4]-FT-1	[15]-LS-1
[5]-LT-1	[3]-PT-1	[5]-TT-1	[5]-FT-1	[15]-LS-2
[6]-LT-1	[3]-PT-2	[6]-TT-1	[6]-FT-1	[15]-LS-3
[7]-LT-1	[4]-PT-1	[7]-TT-1	[7]-FT-1	[16]-LS-1
[8]-LT-1	[4]-PT-2	[8]-TT-1	[8]-FT-1	[16]-LS-2
[9]-LT-1	[5]-PT-1	[9]-TT-1		[16]-LS-3
[10]-LT-1	[5]-PT-2	[10]-TT-1		[19]-LS-1
[11]-LT-1	[6]-PT-1	[11]-TT-1		[19]-LS-2
[12]-LT-1	[6]-PT-2	[12]-TT-1		[19]-LS-3
[13]-LT-1	[7]-PT-1	[13]-TT-1		[20]-LS-1
[17]-LT-1	[7]-PT-2	[17]-TT-1		[20]-LS-2
[18]-LT-1	[8]-PT-1	[18]-TT-1		[20]-LS-3
	[8]-PT-2			
	[9]-PT-1			
	[9]-PT-2			
	[10]-PT-1			
	[10]-PT-2			
	[11]-PT-1			
	[11]-PT-2			
	[12]-PT-1			
	[12]-PT-2			
	[13]-PT-1			
	[13]-PT-2			
	[17]-PT-1			

Tabla 9. Listado de tanques.

Tanques				
TK-[001]	TK-[005]	TK-[009]	TK-[013]	TK-[017]
TK-[002]	TK-[006]	TK-[010]	TK-[014]	TK-[018]
TK-[003]	TK-[007]	TK-[011]	TK-[015]	TK-[019]
TK-[004]	TK-[008]	TK-[012]	TK-[016]	TK-[020]

Tabla 10. Listado de motores con sus respectivos contactores.

Motor	Contactador	Motor	Contactador
M-[001]	M1	P-[001]	P1
M-[002]	M2	P-[002]	P2
M-[003]	M3	P-[003]	P3
M-[004]	M4	P-[004]	P4
M-[005]	M5	P-[005]	P5
M-[006]	M6	P-[006]	P6
M-[007]	M7	P-[007]	P7
M-[008]	M8	P-[008]	P8
M-[009]	M9	P-[019]	P19
M-[010]	M0	P-[020]	P20
M-[011]	M1	P-[021]	P21
M-[012]	M2		
M-[013]	M3		
M-[014]	M4		
M-[015]	M5		
M-[016]	M6		
M-[017]	M7		
M-[018]	M8		
M-[019]	M9		
M-[020]	M20		

Tabla 11. Listado de válvulas neumáticas 5/3.

Válvulas neumáticas 5/3				
[1]-PV-1	[3]-PV-6	[5]-PV-1	[7]-PV-6	[9]-PV-13
[1]-PV-2	[3]-PV-7	[5]-PV-2	[7]-PV-7	[9]-PV-14
[1]-PV-3	[3]-PV-8	[5]-PV-3	[7]-PV-8	[9]-PV-16
[1]-PV-4	[3]-PV-11	[5]-PV-4	[7]-PV-11	[10]-PV-1
[1]-PV-5	[3]-PV-12	[5]-PV-5	[7]-PV-12	[10]-PV-2
[1]-PV-6	[3]-PV-13	[5]-PV-6	[7]-PV-13	[10]-PV-3
[1]-PV-7	[3]-PV-14	[5]-PV-7	[7]-PV-14	[10]-PV-4
[1]-PV-8	[3]-PV-16	[5]-PV-8	[7]-PV-16	[10]-PV-5
[1]-PV-11	[1]-PV-140	[5]-PV-11	[8]-PV-1	[10]-PV-6
[1]-PV-12	[2]-PV-140	[5]-PV-12	[8]-PV-2	[10]-PV-7
[1]-PV-13	[3]-PV-140	[5]-PV-13	[8]-PV-3	[10]-PV-8
[1]-PV-14	[4]-PV-140	[5]-PV-14	[8]-PV-4	[10]-PV-11
[1]-PV-16	[5]-PV-140	[5]-PV-16	[8]-PV-5	[10]-PV-12
[2]-PV-1	[6]-PV-140	[6]-PV-1	[8]-PV-6	[10]-PV-13
[2]-PV-11	[7]-PV-140	[6]-PV-2	[8]-PV-7	[10]-PV-14
[2]-PV-2	[8]-PV-140	[6]-PV-3	[8]-PV-8	[10]-PV-16
[2]-PV-3	[11]-PV-140	[6]-PV-4	[8]-PV-11	[11]-PV-1
[2]-PV-4	[12]-PV-140	[6]-PV-5	[8]-PV-12	[11]-PV-2
[2]-PV-5	[4]-PV-1	[6]-PV-6	[8]-PV-13	[11]-PV-3
[2]-PV-6	[4]-PV-2	[6]-PV-7	[8]-PV-14	[11]-PV-4
[2]-PV-7	[4]-PV-3	[6]-PV-8	[8]-PV-16	[11]-PV-5
[2]-PV-8	[4]-PV-4	[6]-PV-11	[9]-PV-1	[11]-PV-6
[2]-PV-12	[4]-PV-5	[6]-PV-12	[9]-PV-2	[11]-PV-7
[2]-PV-13	[4]-PV-6	[6]-PV-13	[9]-PV-3	[11]-PV-8
[2]-PV-14	[4]-PV-7	[6]-PV-14	[9]-PV-4	[11]-PV-11
[2]-PV-16	[4]-PV-8	[6]-PV-16	[9]-PV-5	[11]-PV-12
[3]-PV-1	[4]-PV-11	[7]-PV-1	[9]-PV-6	[11]-PV-13
[3]-PV-2	[4]-PV-12	[7]-PV-2	[9]-PV-7	[11]-PV-14
[3]-PV-3	[4]-PV-13	[7]-PV-3	[9]-PV-8	[1]-PV-110
[3]-PV-4	[4]-PV-14	[7]-PV-4	[9]-PV-11	[1]-PV-120
[3]-PV-5	[4]-PV-16	[7]-PV-5	[9]-PV-12	[2]-PV-120

Tabla 11. Continuación

Válvulas neumáticas 5/3				
[2]-PV-130	[13]-PV-2	[17]-PV-5	[2]-PV-180	[15]-PV-8
[3]-PV-110	[13]-PV-3	[17]-PV-6	[3]-PV-180	[15]-PV-11
[3]-PV-120	[13]-PV-4	[17]-PV-8	[4]-PV-180	[15]-PV-12
[4]-PV-110	[13]-PV-5	[17]-PV-11	[5]-PV-180	[15]-PV-13
[4]-PV-120	[13]-PV-6	[17]-PV-12	[6]-PV-180	[15]-PV-14
[5]-PV-110	[13]-PV-7	[17]-PV-13	[7]-PV-180	[15]-PV-15
[5]-PV-120	[13]-PV-8	[17]-PV-14	[8]-PV-180	[16]-PV-1
[6]-PV-110	[13]-PV-11	[17]-PV-16	[11]-PV-180	[16]-PV-2
[6]-PV-120	[13]-PV-12	[18]-PV-1	[12]-PV-180	[16]-PV-3
[7]-PV-110	[13]-PV-13	[18]-PV-2	[100]-PV-11	[16]-PV-4
[7]-PV-120	[13]-PV-14	[18]-PV-3	[140]-PV-11	[16]-PV-5
[8]-PV-110	[19]-PV-1	[18]-PV-4	[14]-PV-1	[16]-PV-6
[8]-PV-120	[19]-PV-2	[18]-PV-5	[14]-PV-2	[16]-PV-7
[7]-PV-110	[19]-PV-3	[18]-PV-6	[14]-PV-3	[16]-PV-8
[7]-PV-120	[20]-PV-1	[18]-PV-7	[14]-PV-4	[16]-PV-11
[8]-PV-110	[20]-PV-2	[18]-PV-8	[14]-PV-5	[16]-PV-12
[8]-PV-120	[20]-PV-3	[18]-PV-11	[14]-PV-6	[16]-PV-13
[12]-PV-1	[1]-PV-130	[18]-PV-12	[14]-PV-7	[16]-PV-14
[12]-PV-2	[2]-PV-130	[18]-PV-13	[14]-PV-8	[16]-PV-15
[12]-PV-3	[3]-PV-130	[18]-PV-14	[14]-PV-11	[11]-PV-160
[12]-PV-4	[4]-PV-130	[1]-PV-170	[14]-PV-12	[12]-PV-160
[12]-PV-5	[5]-PV-130	[2]-PV-170	[14]-PV-13	[1]-PV-160
[12]-PV-6	[6]-PV-130	[3]-PV-170	[14]-PV-14	[2]-PV-160
[12]-PV-7	[7]-PV-130	[4]-PV-170	[14]-PV-15	[3]-PV-160
[12]-PV-8	[8]-PV-130	[5]-PV-170	[15]-PV-1	[4]-PV-160
[12]-PV-11	[11]-PV-130	[6]-PV-170	[15]-PV-2	[5]-PV-160
[12]-PV-12	[12]-PV-130	[7]-PV-170	[15]-PV-3	[6]-PV-160
[12]-PV-13	[17]-PV-1	[8]-PV-170	[15]-PV-4	[7]-PV-160
[12]-PV-14	[17]-PV-2	[11]-PV-170	[15]-PV-5	[8]-PV-160
[12]-PV-16	[17]-PV-3	[12]-PV-170	[15]-PV-6	[11]-PV-160
[13]-PV-1	[17]-PV-4	[1]-PV-180	[15]-PV-7	[12]-PV-160

Tabla 11. Continuación

Válvulas neumáticas 5/3
[4]-PV-200
[5]-PV-200
[6]-PV-200
[19]-PV-12
[20]-PV-12

Tabla 12. Listado de actuadores neumáticos.

Válvulas de control con actuadores neumáticos					
[1]-PA-1	[2]-PA-7	[2]-PA-140	[4]-PA-14	[6]-PA-6	[7]-PA-16
[1]-PA-2	[2]-PA-8	[3]-PA-140	[4]-PA-16	[6]-PA-7	[8]-PA-1
[1]-PA-3	[2]-PA-12	[4]-PA-140	[5]-PA-1	[6]-PA-8	[8]-PA-2
[1]-PA-4	[2]-PA-13	[5]-PA-140	[5]-PA-2	[6]-PA-11	[8]-PA-3
[1]-PA-5	[2]-PA-14	[6]-PA-140	[5]-PA-3	[6]-PA-12	[8]-PA-4
[1]-PA-6	[2]-PA-16	[7]-PA-140	[5]-PA-4	[6]-PA-13	[8]-PA-5
[1]-PA-7	[3]-PA-1	[8]-PA-140	[5]-PA-5	[6]-PA-14	[8]-PA-6
[1]-PA-8	[3]-PA-2	[11]-PA-140	[5]-PA-6	[6]-PA-16	[8]-PA-7
[1]-PA-11	[3]-PA-3	[12]-PA-140	[5]-PA-7	[7]-PA-1	[8]-PA-8
[1]-PA-12	[3]-PA-4	[4]-PA-1	[5]-PA-8	[7]-PA-2	[8]-PA-11
[1]-PA-13	[3]-PA-5	[4]-PA-2	[5]-PA-11	[7]-PA-3	[8]-PA-12
[1]-PA-14	[3]-PA-6	[4]-PA-3	[5]-PA-12	[7]-PA-4	[8]-PA-13
[1]-PA-16	[3]-PA-7	[4]-PA-4	[5]-PA-13	[7]-PA-5	[8]-PA-14
[2]-PA-1	[3]-PA-8	[4]-PA-5	[5]-PA-14	[7]-PA-6	[8]-PA-16
[2]-PA-11	[3]-PA-11	[4]-PA-6	[5]-PA-16	[7]-PA-7	[9]-PA-1
[2]-PA-2	[3]-PA-12	[4]-PA-7	[6]-PA-1	[7]-PA-8	[9]-PA-2
[2]-PA-3	[3]-PA-13	[4]-PA-8	[6]-PA-2	[7]-PA-11	[9]-PA-3
[2]-PA-4	[3]-PA-14	[4]-PA-11	[6]-PA-3	[7]-PA-12	[9]-PA-4
[2]-PA-5	[3]-PA-16	[4]-PA-12	[6]-PA-4	[7]-PA-13	[9]-PA-5
[2]-PA-6	[1]-PA-140	[4]-PA-13	[6]-PA-5	[7]-PA-14	[9]-PA-6

Tabla 12. Continuación

Válvulas de control con actuadores neumáticos					
[9]-PA-7	[11]-PA-13	[12]-PA-11	[8]-PA-130	[4]-PA-170	[14]-PA-14
[9]-PA-8	[11]-PA-14	[12]-PA-12	[11]-PA-130	[5]-PA-170	[14]-PA-15
[9]-PA-11	[1]-PA-110	[12]-PA-13	[12]-PA-130	[6]-PA-170	[15]-PA-1
[9]-PA-12	[1]-PA-120	[12]-PA-14	[17]-PA-1	[7]-PA-170	[15]-PA-2
[9]-PA-13	[2]-PA-120	[12]-PA-16	[17]-PA-2	[8]-PA-170	[15]-PA-3
[9]-PA-14	[2]-PA-130	[13]-PA-1	[17]-PA-3	[11]-PA-170	[15]-PA-4
[9]-PA-16	[3]-PA-110	[13]-PA-2	[17]-PA-4	[12]-PA-170	[15]-PA-5
[10]-PA-1	[3]-PA-120	[13]-PA-3	[17]-PA-5	[1]-PA-180	[15]-PA-6
[10]-PA-2	[4]-PA-110	[13]-PA-4	[17]-PA-6	[2]-PA-180	[15]-PA-7
[10]-PA-3	[4]-PA-120	[13]-PA-5	[17]-PA-8	[3]-PA-180	[15]-PA-8
[10]-PA-4	[5]-PA-110	[13]-PA-6	[17]-PA-11	[4]-PA-180	[15]-PA-11
[10]-PA-5	[5]-PA-120	[13]-PA-7	[17]-PA-12	[5]-PA-180	[15]-PA-12
[10]-PA-6	[6]-PA-110	[13]-PA-8	[17]-PA-13	[6]-PA-180	[15]-PA-13
[10]-PA-7	[6]-PA-120	[13]-PA-11	[17]-PA-14	[7]-PA-180	[15]-PA-14
[10]-PA-8	[7]-PA-110	[13]-PA-12	[17]-PA-16	[8]-PA-180	[15]-PA-15
[10]-PA-11	[7]-PA-120	[13]-PA-13	[18]-PA-1	[11]-PA-180	[16]-PA-1
[10]-PA-12	[8]-PA-110	[13]-PA-14	[18]-PA-2	[12]-PA-180	[16]-PA-2
[10]-PA-13	[8]-PA-120	[19]-PA-1	[18]-PA-3	[100]-PA-11	[16]-PA-3
[10]-PA-14	[7]-PA-110	[19]-PA-2	[18]-PA-4	[140]-PA-11	[16]-PA-4
[10]-PA-16	[7]-PA-120	[19]-PA-3	[18]-PA-5	[14]-PA-1	[16]-PA-5
[11]-PA-1	[8]-PA-110	[20]-PA-1	[18]-PA-6	[14]-PA-2	[16]-PA-6
[11]-PA-2	[8]-PA-120	[20]-PA-2	[18]-PA-7	[14]-PA-3	[16]-PA-7
[11]-PA-3	[12]-PA-1	[20]-PA-3	[18]-PA-8	[14]-PA-4	[16]-PA-8
[11]-PA-4	[12]-PA-2	[1]-PA-130	[18]-PA-11	[14]-PA-5	[16]-PA-11
[11]-PA-5	[12]-PA-3	[2]-PA-130	[18]-PA-12	[14]-PA-6	[16]-PA-12
[11]-PA-6	[12]-PA-4	[3]-PA-130	[18]-PA-13	[14]-PA-7	[16]-PA-13
[11]-PA-7	[12]-PA-5	[4]-PA-130	[18]-PA-14	[14]-PA-8	[16]-PA-14
[11]-PA-8	[12]-PA-6	[5]-PA-130	[1]-PA-170	[14]-PA-11	[16]-PA-15
[11]-PA-11	[12]-PA-7	[6]-PA-130	[2]-PA-170	[14]-PA-12	[11]-PA-160
[11]-PA-12	[12]-PA-8	[7]-PA-130	[3]-PA-170	[14]-PA-13	[12]-PA-160

Tabla 12. Continuación

**Válvulas de control con
actuadores neumáticos**

[1]-PA-160
[2]-PA-160
[3]-PA-160
[4]-PA-160
[5]-PA-160
[6]-PA-160
[7]-PA-160
[8]-PA-160
[11]-PA-160
[12]-PA-160
[4]-PA-200
[5]-PA-200
[6]-PA-200
[19]-PV-12
[20]-PV-12

I. Organización de válvulas de esquina y paso

Tabla 13. Accionamiento de válvulas para rutas de fluido.

Salida	Destino	Válvulas que deben abrirse
Tubería de jarabe simple	Tanque 1	[11]-CV-100, [1]-CV-16
	Tanque 2	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16
	Tanque 3	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16
	Tanque 4	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, 4-CV-16
	Tanque 5	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16
	Tanque 6	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-16
	Tanque 7	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-16, [7]-CV-16
	Tanque 8	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-16, [7]-CV-16
	Tanque 9	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-19, [8]-CV-16
	Tanque 10	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-19, [8]-CV-16, [9]-CV-16
	Tanque 11	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-19, [8]-CV-16, [9]-CV-16, [10]-CV-16
	Tanque 12	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-19, [8]-CV-16, [9]-CV-16, [10]-CV-16, [12]-CV-120
	Tanque 13	[11]-CV-100, [1]-CV-16, [2]-CV-16, [3]-CV-16, [4]-CV-16, [5]-CV-16, [6]-CV-19, [8]-CV-16, [9]-CV-16, [10]-CV-16, [12]-CV-120, [12]-CV-16
	Tanque 17	[11]-CV-[140], [11]-CV-180
Tanque 18	[11]-CV-[140], [11]-CV-180, [17]-CV-16	

Tabla 13. Continuación

Salida	Destino	Válvulas que deben abrirse
Tanques de lavado	Línea J	[J]-CV-140, [J]-CV-180, [J]-CV-110, [J]-CV-12
	Línea J (purga)	[J]-CV-140, [J]-CV-180, [J]-CV-110, [J]-CV-12, [J]-CV-130, [J]-CV-160, [J]-CV-170
Tanque M (tanques 17 y 18), línea J	Línea de llenado J	[J]-CV-180, [J]-CV-110
Tanque M (tanques 1 a 11), línea J	Línea de llenado J	[J]-CV-110
Tanque M (tanques 12 y 13), línea J	Línea de llenado J	[J]-CV-120

J. Interpretación de codificación de nomenclatura de variables en diagrama P&ID y para módulos de conexión

Para la estructura de los nombres de los equipos, se utilizan variables y códigos para etiquetar los componentes. Las variables se muestran dentro de corchetes en los diagramas de flujo y se utilizan para hacer referencia a un número de componente específico en los diagramas y tablas. A continuación se enlistan los códigos empleados para nombrar equipos, variables, banderas, componentes, etc.

1. Equipos

- CV: Válvula de control.
- MV: válvula manual.
- PT: transductor de presión.
- LT: transductor de nivel.
- LS: interruptor de nivel.
- TT: transductor de temperature.
- FT: transductor de flujo.
- PA: actuador neumático de piston.
- AI: submódulo de entrada analógicas para módulo ET200.
- DPO: submódulo de salida digital neumática para módulo ET200.
- DO: submódulo de salida digital para módulo ET200.
- PV: válvula neumática 5/3 con retornos de resorte.
- M: motor mezclador con su contactor.
- P: bomba centrífuga.
- TK: tanque cerrado de acero inoxidable.
- ET200: submódulo de conexión.
- L[J]: Línea de producción J.

- [J]-FT-1: Transductor de flujo de línea J.
- P[L]: bomba de línea L.
- TK-[N]: tanque de producción N.
- TK-[M]: tanque de concentrados M.
- TK-[F]: tanque de lavado G.
- M-[M]: motor de mezclado de TK-[M].
- M-[N]: motor de mezclado de TK-[N].
- P-[M]: bomba de TK-[M].
- [M]-LS-[G]: G-ésimo interruptor de nivel en TK-[M].
- [M]-CV-[J]: J-ésima válvula conectada a TK-[M] (No necesariamente corresponde a algún tanque, pero se asigna el número del tanque más cercano).
- [M]-PT-1: Transductor de presión en la base de TK-[M].
- [M]-PT-2: Transductor de presión en la parte superior de TK-[M].
- [M]-LT-1: Transductor de nivel en TK-[M].

2. Códigos de error. Los códigos de error constan de tres caracteres: CE[B], donde los primeros dos permanecen constantes e identifican a la variable como error; mientras que el carácter B corresponde a la variable que distingue el tipo de error. A continuación se presenta el listado del código correspondiente a cada tipo de error.

- 1: La tubería a utilizar no se encuentra disponible, cambiar prioridad de pedido.
- 2: Cantidad de jarabe terminado insuficiente para satisfacer el pedido.
- 3: Solicitud expirada.
- 4: Tanques de concentrados no disponibles.
- 5: Tanques de producción no disponibles.

- 6: Tanques de lavado no disponibles.
- 7: Tanque seleccionado no disponible.
- 8: Tanque no disponible.
- 9: Error en selección de tanque.

3. Temporizadores

- TMR1-L[J]: Temporizador de espera para solicitud de producción de jarabe terminado.
- TMR2-T[N]: Temporizador añejado del tanque.
- TMR3-L[N]-[J]: Temporizador de llenado de tubería entre tanque N y línea J.
- TMR4-T[N]: Temporizador de espera para solicitud de selección de tanque de producción.
- TMR5-T[M]: Temporizador de mezclado de tanque de concentrados TK-[M].
- TMR6-T[N]: Temporizador para mezclado de TK-[N].
- TMR7-T[N]: Temporizador para añejado de TK-[N].
- TMR8-T[N]: Temporizador para lavado de TK-[N].
- TMR9-T[L]: Temporizador para vaciado de tubería de L[J].
- TMR1S-L[J]: Valor de referencia para temporizador de espera para solicitud de producción de jarabe terminado.
- TMR2S-T[N]: Valor de referencia para temporizador añejado del tanque.
- TMR3S-L[N]-[J]: Valor de referencia para temporizador de llenado de tubería entre tanque N y línea J.
- TMR4S-T[N]: Valor de referencia para temporizador de espera para solicitud de selección de tanque de producción.
- TMR5S-T[M]: Valor de referencia para temporizador de mezclado de tanque de concentrados TK-[M].

- TMR6S-T[N]: Valor de referencia para temporizador para mezclado de TK-[N].
- TMR7S-T[N]: Valor de referencia para temporizador para añejado de TK-[N].
- TMR8S-T[N]: Valor de referencia para temporizador para lavado de TK-[N].
- TMR9S-T[L]: Valor de referencia para temporizador para vaciado de tubería de L[J].
- TMR1-L[J]: Disparador del temporizador de espera para solicitud de producción de jarabe terminado.
- TMR2-T[N]: Disparador del temporizador añejado del tanque.
- TMR3-L[N]-[J]: Disparador del temporizador de llenado de tubería entre tanque N y línea J.
- TMR4-T[N]: Disparador del temporizador de espera para solicitud de selección de tanque de producción.
- TMR5-T[M]: Disparador del temporizador de mezclado de tanque de concentrados TK-[M].
- TMR6-T[N]: Disparador del temporizador para mezclado de TK-[N].
- TMR7-T[N]: Disparador del temporizador para añejado de TK-[N].
- TMR8-T[N]: Disparador del temporizador para lavado de TK-[N].
- TMR9-T[L]: Disparador del temporizador para vaciado de tubería de L[J].

4. Banderas

- B1[M]: concentrados listos para producción en TK [M].
- B2[N]: jarabe simple listo en tanque para continuar producción, en TK-[N].
- B3[N]: jarabe terminado listo en TK [N].
- B4[N]: jarabe simple listo en tanque para continuar producción en TK-[N].
- AF-TF-[N]: Bandera de disponibilidad de TK-[N].
- AF-TF-[M]: Bandera de disponibilidad de TK-[M].

- AF-TF-[G]: Bandera de disponibilidad de TK-[G]
- CICLO1[N]: indicador de conclusión de primer ciclo de lavado de TK-[N]
- CICLO2[G]: indicador de conclusión de primer ciclo de lavado de TK-[G]

5. Indicadores de señales manuales

- SMR: señal ingresada manualmente por el operador en respuesta a una solicitud del programa.
- SCNP19: Indicador de finalización de ingreso de concentrados a tanque 19 con bomba.
- SCN[M]: Indicador de finalización de adición manual de concentrados base al tanque TK-[M].
- SLT[N]: Indicador de finalización de adición manual de agentes limpiadores y agua a TK-[N].
- SMLA[N]: Señal manual del operador de finalización de tarea de lavado.
- SMLL[J]: Señal manual del operador de que L[J] está llena.

6. Valores de referencia

- TMR1MAX: tiempo máximo de espera para responder de forma manual a una solicitud hecha por el programa.
- VPP-L[J]: volumen programado solicitado por L[J].
- VP: volumen programado de producción para proceso actual.
- VCREF19: Volumen máximo de jarabe terminado que puede producirse utilizando el tanque 19.
- MAX[N]: volumen máximo permitido para TK-[N].
- TET[N]: tiempo estimado de entrega para TK-[N].
- LMIN[N]: Nivel mínimo al que puede operar TK-[N].

- LJS[N]: Nivel de jarabe simple a utilizar para producción en TK-[N].
- BRIXS[N]: Valor de Brix deseado para TK-[N].

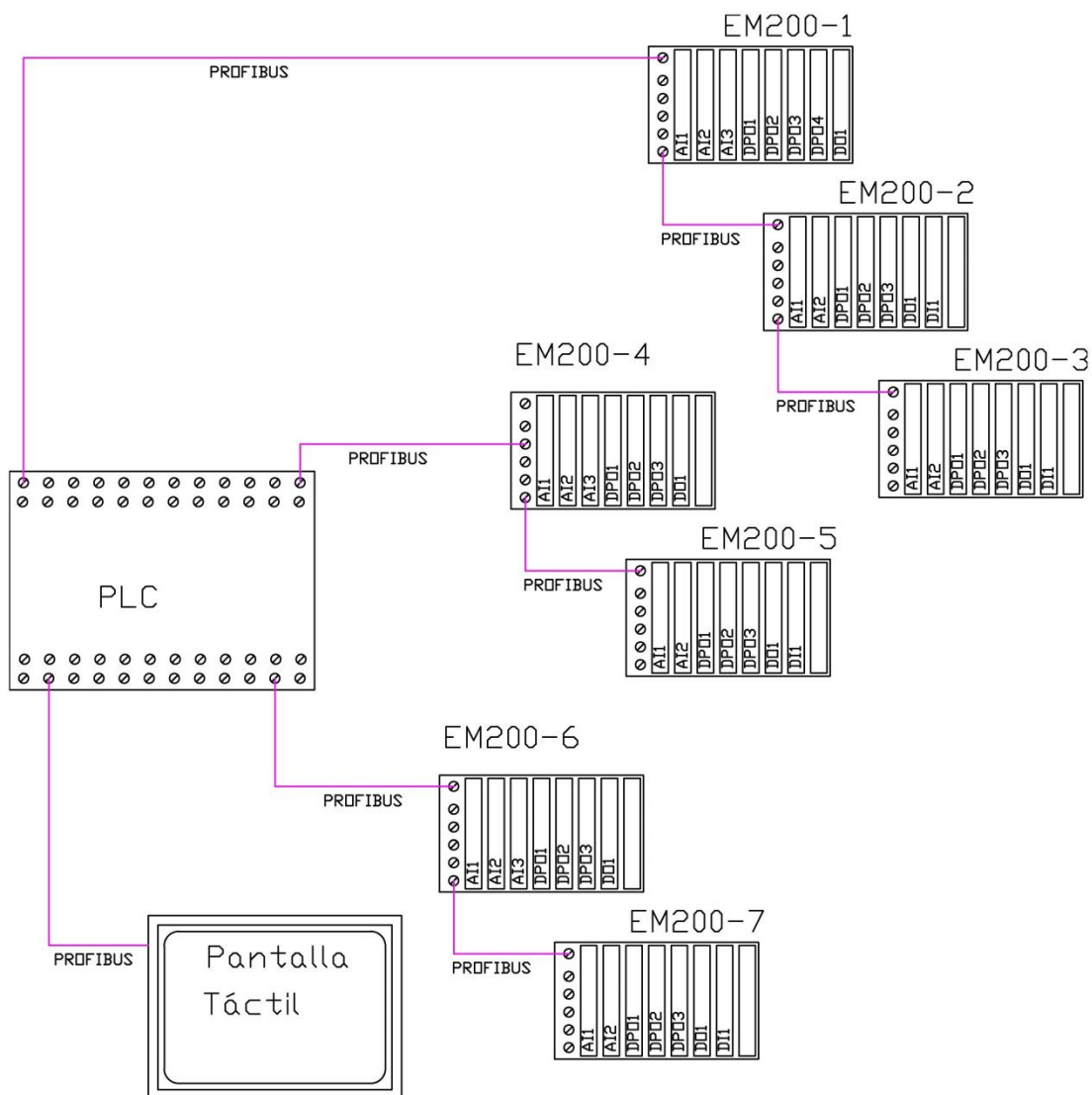
7. Variables

- VTK[N]: volumen de producto contenido en tanque [N].
- VL[J]: volumen entregado a línea J, valor calculado de acuerdo al arrojado por [J]-FT-1.
- DLT[N]: Señal indicadora de enuajgue manual.
- BRIX[N]: Valor calculado de Brix para TK-[N].

En el caso de los actuadores neumáticos (PA) y válvulas neumáticas (PV), se emplea la misma estructura que con las válvulas de control, con la diferencia de que se sustituye el código CV por el correspondiente. Se emplea la misma estructura del código debido a que a cada válvula de control le corresponde un actuador neumático y una válvula neumática.

K. Mapa de la red de control

Figura 31. Diagrama de módulos y submódulos de red de control.



L. Cálculo de tiempo mínimo de producción y entrega de un lote de producción

Tabla 14. Valores de interés para cálculo de tiempo mínimo de producción y entrega de un lote de producción.

Variable	Valor esperado
Flujo volumétrico máximo que ingresa a un tanque (Q1)	80 gal/min
Flujo volumétrico máximo al que operan las líneas de llenado, Línea 5 (Q2)	25 gal/min
Volumen mínimo de tanques de producción a un 70% de su capacidad (V1)	2100 galones
Tiempo esperado de añejado (T1)	180 minutos

Otros tiempos de interés para determinar el tiempo mínimo de producción son el de llenado del tanque y de entrega de la totalidad de jarabe contenida dentro de un tanque. Estos cálculos deben basarse en los tanques más pequeños, ya que son los que toman menos tiempo en vaciarse y llenarse, y en la línea de llenado más rápida (Línea 5).

- Tiempo de llenado de un tanque pequeño (T2):

$$T2 = V1/Q1$$

$$T2 = (2100 \text{ gal})/(80 \text{ gal/min}) = 26 \text{ minutos}$$

- Entrega de la totalidad del líquido dentro de un tanque pequeño a la línea de llenado 5 (T3):

$$T3 = V1/Q2$$

$$T3 = (2250 \text{ gal})/(25 \text{ gal/min}) = 84 \text{ minutos}$$

Asumiendo condiciones ideales, el tiempo mínimo de producción y entrega de un lote de jarabe (T) puede calcularse de la siguiente forma:

$$T = T1+T2+T3$$

$$T = 26 \text{ minutos} + 84 \text{ minutos} + 180 \text{ minutos}$$

$$T = 290 \text{ minutos} = 4 \text{ horas con } 50 \text{ minutos}$$

Estos cálculos solo aplican para el caso de los tanques más pequeños (3000 galones) cuando los mismos alimentan a la línea de llenado número 5, que es la línea más rápida con la que cuenta la planta. Para tener una idea más real de los tiempos que se manejan con el resto de tanques y líneas, observar las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Flujo de jarabe en líneas de producción

Variable	Valor esperado (gal/min)
Línea 1	13.33
Línea 4	16.67
Línea 5	25
Línea 6	13.33
Línea 7	13.33
Línea 8	13.33
Línea 9	13.33
Línea de Post-Mix	13.33

Tabla 16. Tiempos totales esperados para la producción de jarabe empleando los tanques de producción a un 70% de su capacidad y a una velocidad de llenado de 80 galones por minuto

Tiempo de con un flujo volumétrico de 80gal/min (máximo al que puede operar la sala)	Cantidad de tanques en sala de jarabes	Líneas 1, 6, 7, 8, 9, Post Mix	Línea 4	Línea 5
Tanques de 3000 galones	1	6 horas 7 minutos	5 horas 32 minutos	4 horas 50 minutos
Tanques de 4050 galones	2	7 horas 8 minutos	6 horas 25 minutos	5 horas 28 minutos
Tanques de 5000 galones	6	8 horas 6 minutos	7 horas 14 minutos	6 horas 4 minutos
Tanques de 10000 galones	5	13 horas 12 minutos	11 horas 27 minutos	9 horas 7 minutos

Como puede observarse en la Tabla 16, los tiempos máximos a los que se puede producir jarabe oscilan entre cinco y trece horas. Debe considerarse que la sala no se encuentra en producción el 100% del tiempo y que estos tiempos no incluyen transiciones entre procesos ni los tiempos de lavado de tanques.