



TRABAJO DE DIPLOMA

**Propuesta de Automatización de la línea de producción
del Concentrador de pulpa de la Fábrica de Conservas
Guaso en la provincia Guantánamo.**

Autor

Fret Gómez Sancho

Tutor

MSc. José A. Pullés Boudet

Consultante

Ing. Fret Gómez Barbier

Noviembre, 2023



**UNIVERSIDAD
DE ORIENTE**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática**

TRABAJO DE DIPLOMA

Título

Propuesta de Automatización de la línea de producción del Concentrador de pulpa de la Fábrica de Conservas Guaso en la provincia Guantánamo.

Autor

Fret Gómez Sancho

Tutor

MSc. José Antonio Pullés Boudet

Consultante

Ing. Fret Gómez Barbier

Noviembre, 2023



Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática

Hago constar que el presente Trabajo de Diploma fue realizado en la Universidad de Oriente como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución para los fines que estime convenientes, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Nombre y firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Nombre y firma del autor

Nombre y firma del Tutor

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Carrera

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Departamento

Fecha

Dedicatoria

Si no fuera por el apoyo de muchas personas, estas largas horas de poco sueño, de nervios incontrolables, de momentos en que la incertidumbre nubla el final del camino, no hubieran concluido, porque cada uno aportó, de múltiples formas, a hacer este sueño un poco más realizable. Pero sobre todo a mi familia que ha sabido estar a mi lado en estos años (unos cuantos) de estudio, en especial a Fret Gómez Barbier, mi papá, mi fiel mentor, que ha sabido sacarme de los baches, y a Lilia Sancho Sánchez, mi mamá, que ha estado más loca que yo de que me gradúe.

Agradecimientos

A mi tutor por ser parte de este proyecto y brindarme la luz cuando pensé abandonar el barco,

A cada uno de mis profesores por enseñarme todos los conocimientos adquiridos,

A mis amigos (Daniel, Ricardo, Miki, Alex, Damián, Efrén y otros muchos) que han contribuido espiritual y con acciones a que haya continuado,

A mi familia (padres, hermano, abuelos, tíos, etc.) siempre preocupada porque terminé lo que comencé un día,

Y a mí, porque pese a todo me he demostrado a mí mismo que no hay metas que tengan barreras ni pies que no logren saltarlas.

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas

Listado de imágenes

Figura 1. Tipos de alimentación en los evaporadores de múltiple efecto.....	5
Figura 2. Escalado en una señal analógica.....	8
Figura 3. Lazo de control abierto.....	10
Figura 4. Lazo de control cerrado.....	10
Figura 5. Representación general de un control feedforward.	11
Figura 6. Representación general de un control en cascada.....	11
Figura 7. Variedad de PLC de diferentes fabricantes (Schneider, Siemens, Omron).....	13
Figura 8. Ciclo de trabajo de un PLC.	16
Figura 9. Principio General del GRAFCET.....	17
Figura 10. Descripción de la lógica Ladder	19
Figura 11. Conectores macho y hembra tipo DB-25 y DB-9.....	21
Figura 12. Conexión Null Modem mínima	23
Figura 13. Concentrador de Pulpas, Fábrica de Conservas Guaso.....	27
Figura 14. Esquema del Concentrador de Pulpas.	28
Figura 15. Diagrama de Interconexión del sistema de control propuesto	32
Figura 17. Graceft de tercer nivel de la selección del modo de operación.....	40
Figura 18. Graceft de tercer nivel del modo automático.	41
Figura 19. Graceft de primer nivel del llenado.	41
Figura 21. Graceft de tercer nivel de la producción.	43
Figura 22. Configuración del PLC y de los módulos en el Somachine Basic. ..	45
Figura 23. Configuración de la línea serie en el Somachine Basic.	46
Figura 24. Programación LD en el Somachine Basic.	46
Figura 25. Escalamiento de señales analógicas el Somachine Basic (Concentración).	47
Figura 26. Escalamiento de señales analógicas el Somachine Basic (Temperatura).	48

Listado de tablas

Tabla 1. Formato de mensaje Modbus RTU.....	24
Tabla 2. Características del Controlador Lógico Programable M221.....	33
Tabla 3. Señales de entradas analógicas del PLC.	35
Tabla 4. Principales señales de entradas digitales del PLC.	35
Tabla 5. Señales de salidas digitales del PLC.....	36
Tabla 6. Instrumentación propuesta al campo.....	37
Tabla 7. Válvulas propuestas.	39
Tabla 8. Análisis de riesgos en el proceso.	44
Tabla 9. Inversión primaria del proyecto.....	49

Resumen

Con el objetivo de sustituir importaciones y lograr mayores exportaciones, el Estado Cubano se ha dado la tarea de que sus empresas, especialmente las de producciones, confeccionen productos con cada vez más altos estándares de calidad y con mayor eficiencia. Para ello ha implementado cambios en la política económica y en la forma de gestión de dichas empresas vinculándolas con centros de investigación y universidades de todo el país, uniendo ciencia e innovación para dar soluciones a crecientes problemas tecnológicos que ya sea por la falta de mantenimiento o por la poca modernización, no permiten alcanzar mejores resultados. Por tal motivo se ha identificado que en la Fábrica de Conservas Guaso de la provincia de Guantánamo es necesaria la implementación de un Sistema Automatizado del concentrador de pulpa que poseen, debido a que su operación es manual, la producción es ineficiente y de baja calidad. Para ello este trabajo pretende darle solución a este aspecto, enfocándose en la proposición de un sistema de control utilizando PLC y la instrumentación de campo necesaria para este proceso.

Palabras claves: *concentrador de pulpa, sistema de control, Controladores Lógicos Programables, instrumentación.*

Abstract

With the aim of substituting imports and achieving greater exports, the Cuban State has given itself the task of ensuring that its companies, especially production companies, produce products with increasingly higher quality standards and with greater efficiency. To this end, it has implemented changes in the economic policy and in the way these companies are managed, linking them with research centers and universities throughout the country, uniting science and innovation to provide solutions to growing technological problems that either due to lack of maintenance or Due to the lack of modernization, they do not allow us to achieve better results. For this reason, it has been identified that in the Guaso Canning Factory in the province of Guantánamo it is necessary to implement an Automated System for the pulp concentrator they have, because its operation is manual, production is inefficient and of low quality. For this purpose, this work aims to provide a solution to this aspect, focusing on the proposal of a control system using PLC and the field instrumentation necessary for this process.

Key-words:

pulp concentrator, control system, Programmable Logic Controllers, instrumentation.

Índice

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas	I
Listado de imágenes	II
Listado de tablas	III
Resumen	IV
<i>Abstract</i>	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. Marco teórico referencial.	4
1.1 Conceptos fundamentales del proceso	4
1.1.1 Descripción General del Concentrador (Evaporador).....	4
1.1.2 Bomba de vacío	6
1.1.3 Otros factores a tener en cuenta.....	6
1.2 Sistemas de Automatización. Generalidades.	7
1.2.1. Componentes básicos:	7
1.2.2. Operaciones básicas:	9
1.2.3. Clasificación de las variables:	9
1.2.4. Tipos de sistemas de control	9
1.2.5. Tipos de señales utilizadas para la transmisión:	10
1.2.6. Estrategias de control	10
1.3. Controlador Lógico Programable	11
1.3.1 Características generales	11
1.3.2. Campo de aplicación de los PLC.	13
1.3.3. Criterios para la selección de un PLC.	14
1.3.4. Programación de los PLC.	15
1.3.4.1. GRAFCET(SFC).....	16
1.3.4.2. Lenguaje Ladder (LD).....	18
1.4. Visualización de Procesos. Interface Hombre Maquina (HMI).....	20

1.6. Comunicación y Protocolo entre el HMI y el PLC.	20
1.6.1 RS-232.	20
1.6.2. MODBUS.....	23
1.7. Instrumentación.	24
1.7.1. DT301.....	24
1.7.2. RTD.....	25
1.7.3. Presostato.	25
1.7.4. Interruptor vibratorio de nivel.	26
Conclusiones Parciales.....	26
CAPITULO 2. Materiales y métodos. Propuesta del control.	27
2.1. Descripción del Concentrador de Pulpa de la Fábrica de Conservas Guaso.....	27
2.1.1. Características Principales.	27
2.1.2. Composición y elementos auxiliares.....	27
2.1.3. Descripción del funcionamiento del Sistema.....	28
2.1.4. Condiciones actuales del Concentrador de Pulpas.....	30
2.2. Arquitectura del Sistema de Control Propuesto.....	31
2.3. Propuesta de hardware.....	32
2.3.2. Selección del Controlador.....	32
2.3.2. Selección de Sensores.....	37
2.3.3. Selección de Elementos de Acción Final.....	39
2.4. Propuesta del software.....	40
2.4.1. Algoritmo de Trabajo del Sistema. Grafcet del Proceso.....	40
2.4.3. Alarmas y protecciones.....	43
2.4.4. Software a utilizar.....	44
2.4.4.1. Software SoMachine Basic.....	44
2.4.4.2. Vijeo Designer.....	48

2.5. Valoración Económica de la Propuesta.....	48
Conclusiones Parciales.....	49
CONCLUSIONES GENERALES.....	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52
ANEXOS.....	54
Anexo 1. Diagrama PI&D del proceso.....	54
Anexo 2. Conexión de la CPU con las entradas y salidas digitales.	55
Anexo 3. Conexión de la CPU con las entradas y salidas digitales (Continuación).	56
Anexo 4. Conexión del módulo de entradas analógicas con los sensores. ..	57
Anexo 5. Instrumentación.	58
Anexo 6. Características de las entradas normales del M221.	59
Anexo 7. Diagrama de cableado de comun negativo(logica positiva)/comun positivo(logica negativa) de las salidas a la carga y de la entradas con los sensores del TM221C40R	60

INTRODUCCIÓN

A través de la historia los seres humanos han buscado métodos para preservar sus alimentos por largos periodos sin que se descompongan por la acción de agentes físicos, químicos y biológicos. Uno de ellos era eliminándoles total o parcialmente el agua, medio que hace proliferar los microorganismos como bacterias y que cambia las características organolépticas de estos alimentos, usando a veces la evaporación para lograr una mayor concentración. La luz solar y luego el fuego fueron las fuentes de calor primarias para lograrlo, así se pudo obtener sal, azúcar y jugos concentrados, desde tiempos remotos.

Con el empleo extendido del vapor, en el siglo XIX es creado el evaporador de efecto múltiple por el inventor americano Norbert Rillieux para obtener con mejor eficiencia energética meladura a partir del guarapo de caña, y luego se extendió hacia cualquier proceso donde volúmenes grandes de agua se requieran evaporar. En Cuba fueron y son usados principalmente en la industria azucarera, aunque todo el sector alimenticio se ha visto beneficiado con su uso, en especial las Fábricas de Conservas de todo el país, en las cuales se obtienen jugos y pastas de diferentes frutas. La provincia de Guantánamo cuenta con dos fábricas estatales de este tipo que aprovechan las producciones de mango, guayaba y tomate de la localidad: la del valle del Caujerí, la cual fue modernizada hace unos años, y la del propio municipio que no tiene una línea automatizada. Este último cuenta dentro de su proceso con un evaporador de doble efecto antiguo en el cual se enfocará este trabajo. Se propondrá a partir de las diferentes bibliografías lazos de control que permitan la operación automática y de la concentración del producto en rango requerido.

Problema

La tecnología que se encuentra en la línea de proceso del concentrador de pulpa presenta fluctuaciones en la calidad del producto final, falta de eficiencia energética del proceso y en el tiempo de producción.

Objeto de la investigación

Sistema de control del Evaporador de la Fábrica de Conservas Guaso en Guantánamo

Objetivo

Proponer un sistema de control para el Concentrador de Pulpa de la Fábrica de Conservas Guaso, proponiendo la integración de estrategias y elementos para el control de las variables que afectan el proceso, para el aumento de su eficiencia y la calidad de producto.

Campo de Acción

Evaporador de la Fábrica de Conservas Guaso en Guantánamo utilizando un Controlador Lógico Programable.

Hipótesis

Si se implementa un sistema de control en el Concentrador de Pulpa, es posible que tanto el proceso de manufactura, como la calidad del producto, sean beneficiados, pudiendo reducir tiempos de producción, aumentando la cantidad de producción, y en dado caso poder obtener un producto homogéneo.

Tareas de investigación

- Estudiar el proceso y sus características.
- Diseñar un sistema de Automatización para el proceso utilizando PLC.
- Proponer la instrumentación de campo necesaria teniendo en cuenta el aspecto económico en la selección.

Métodos de investigación empleados

- Observación y Revisión documental: Consulta de diferentes fuentes bibliográficas sobre el tema
- Análisis y Síntesis: Estudio del proceso para definir posibles soluciones en el proceso.
- Método Empírico: Consulta a diferentes técnicos y especialistas que conocen el proceso u otros parecidos.

La **estructura** del informe está dada por: Introducción, dos capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y 7 anexos.

En el **Capítulo 1** se realizará una caracterización desde el punto de vista gnoseológico, histórico y actual del evaporador que será objeto de estudio, así como del automatismo presente en dichas plantas y la tecnología que se empleará para la solución de automatización.

En el **Capítulo 2** se dará a conocer los diferentes elementos de la propuesta de solución de automatización para el evaporador de la Fabrica Guaso de la Provincia Guantanamo, donde se plasmaran los diferentes sensores y actuadores seleccionados así como todo lo relacionado a la PLC y la arquitectura de control.

CAPITULO 1. Marco teórico referencial.

Se explicará los detalles concernientes al proceso que permitan entender la forma que funciona y los elementos teóricos relacionados con el control que ayudan a dar con la solución final, presentando así las bases que sustentan las tareas científicas a llevar a cabo en esta investigación.

1.1 Conceptos fundamentales del proceso

1.1.1 Descripción General del Concentrador (Evaporador).[1][2][3]

Su función fundamental es la evaporación de productos disueltos para lograr una mayor concentración, usando generalmente, vapor de agua, para lograr la temperatura de ebullición. También se suele usar presión de vacío para bajar el punto de ebullición atmosférica del líquido aumentando la diferencia de temperatura entre el vapor condensante y el líquido y, por tanto, aumentando la velocidad de transmisión de calor en el evaporador.

Su estructura está compuesta básicamente por un intercambiador de calor y un vaso separador (ha dicho par se le llama efecto). El producto entra por el primero y mediante la calefacción proporcionada por el vapor alcanza el punto de ebullición, luego pasa al segundo donde el vapor se separa de la fase líquida concentrada.

Con el objetivo de lograr una mayor rapidez de concentración aprovechando el calor latente en el vapor de agua liberado por el evaporador, se suele usar varios efectos (evaporador de múltiple efecto), donde el primer efecto se calienta directamente con vapor, y los efectos adicionales reciben el vapor residual producido por anterior, ordenándose en función de la temperatura (o presión) de ebullición descendente.

El acoplamiento de los cuerpos o efectos del evaporador en un sistema de múltiple efecto es una cuestión de tuberías de interconexión y no de la estructura de las unidades individuales.[2]

Existen varios métodos de alimentación en evaporadores de múltiple efecto, como se muestra en la siguiente figura:

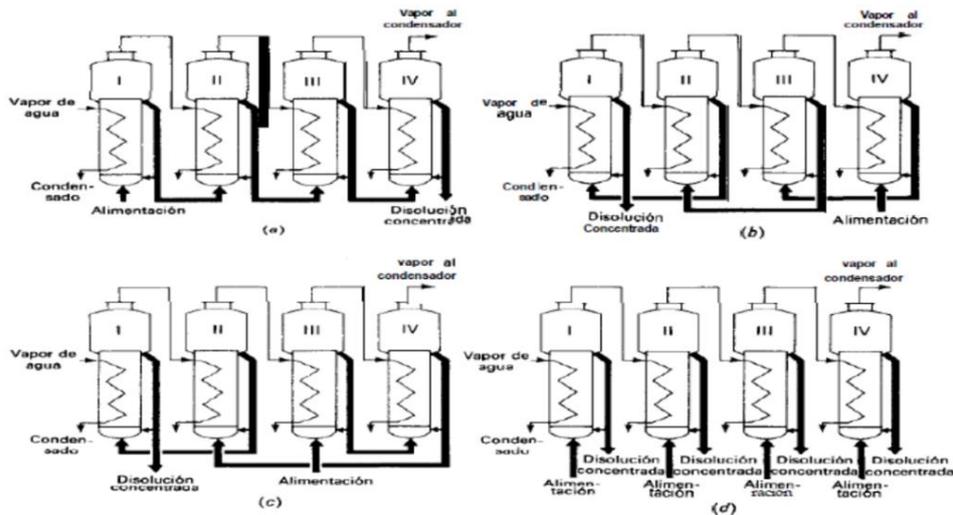


Figura 1. Tipos de alimentación en los evaporadores de múltiple efecto.

Fuente: (Hackett, 2018, p.3).

- Alimentación directa: Consiste en introducir mediante una bomba la disolución diluida en el primer efecto y hacerla circular a través de los demás efectos, al igual que en el primer efecto se necesita una bomba para extraer el producto del último efecto. De igual forma se introduce el vapor vivo saturado. Por la condensación del vapor de un efecto en el siguiente, se produce un cambio de presión; la presión en el primer efecto será la mayor en todo el sistema. Así mismo, la energía del vapor generado en el primer efecto es suficiente para evaporar un equivalente en peso en el siguiente efecto, ya que la energía que conserva es la energía de vaporización a una presión mayor. Generalmente la alimentación directa es mejor que la alimentación a contracorriente cuando la alimentación es fría.[2]
- Alimentación a contracorriente: También conocida como alimentación inversa en donde la alimentación diluida a evaporar entra en el último efecto y se bombea a través de los efectos sucesivos hasta obtener el producto concentrado por el primer efecto. El líquido que se va a concentrar y el vapor vivo utilizado como medio calefactor circulan en sentido contrario. La alimentación a contracorriente se usa cuando la alimentación es viscosa. [2]
- Alimentación mixta: Es un método en donde circula una parte del sistema en alimentación directa y la otra parte inversa o contracorriente.

Este modo de operación elimina ciertas bombas requeridas para la alimentación inversa y permite que la evaporación final se de a una temperatura más alta. [2]

- Alimentación paralela: La alimentación se introduce directamente en cada efecto, no hay transporte de líquido entre los efectos. Este sistema es generalmente usado en procesos en los cuales la alimentación está casi saturada y se quiere un cambio de concentración pequeño como el de cristalización, ya que se pueden obtener diferentes concentraciones en un mismo líquido, puesto que en el primer evaporador se alcanza la concentración máxima, así como en el último se logra la mínima. [2]

El uso de los evaporadores en vacío se ha extendido por la industria alimenticia debido a que los productos concentrados pueden ser conservados largos periodos de tiempo manteniendo sus propiedades organolépticas sin descomponerse, y desde el punto de vista económico se reduce los gastos en espacio de almacenamiento y transporte. Tal es el caso de la leche evaporada para leche chocolatada, los jugos de frutas, y la pasta de tomate.

1.1.2 Bomba de vacío

La bomba de vacío es un equipo mecánico diseñado para extraer gases o líquidos del interior de recipientes o sistemas, mediante el trasiego de los gases/fluidos que contienen. Este flujo genera una diferencia de presión medida en relación a la presión atmosférica o con referencia a un punto de trabajo concreto. Esto nos permite mantener presiones menores a la atmosférica en aplicaciones que lo requieran. [5]

1.1.3 Otros factores a tener en cuenta. [1][6]

Durante el proceso ocurren una serie de fenómenos que afectan la integridad del producto de forma directa o indirectamente, tal es el caso de:

- Formación de espumas: Se producen durante la ebullición de ciertos productos con soluciones causticas, alimenticias o aceites grasos, que son desplazados por el vapor.

- Formación de incrustaciones: debido a las partículas de productos que se descomponen o que se queman, adheridas a las paredes del equipo.
- Corrosión: Los materiales del equipo están expuestos al medio acuoso de los productos.
- Solubilidad: Una excesiva concentración del producto puede provocar el sobrepaso del límite de solubilidad del material en solución y formar cristales.
- Sensibilidad térmica de los materiales: Gran variedad de productos, son sensibles a la temperatura y se degradan cuando ésta aumenta o el calentamiento se prolonga demasiado

1.2 Sistemas de Automatización. Generalidades.[7][8]

La dinámica de los procesos varía en su nivel de complejidad siendo muy engorroso para los operarios mantener el control manual de las múltiples variables (temperatura, presión, flujo, etc.) y de otros factores externos que la afectan, que pueden atentar contra la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción. Por tal motivo es necesario implementar un control automático para mantener en determinado valor de operación las variables del proceso, valiéndose de diferentes dispositivos que permitan dicha tarea.

Existen una serie de términos necesarios para comprender dicho campo y los cuales se definirán a continuación:

1.2.1. Componentes básicos:

- Sensor-Transmisor: el primero mide las variables del proceso y se encarga de convertir una magnitud física en una señal eléctrica de tensión o corriente, mientras que el segundo capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador. Cuando se utilizan sensores un aspecto importante es lo que llamamos escalamiento, con este se relaciona la magnitud física y la señal eléctrica, por medio de una ecuación, que en la mayoría de los casos es lineal, para este caso se relaciona el valor mínimo y máximo de la medición del sensor con un valor mínimo y

máximo de una referencia eléctrica, la cual puede ser de corriente o de tensión.

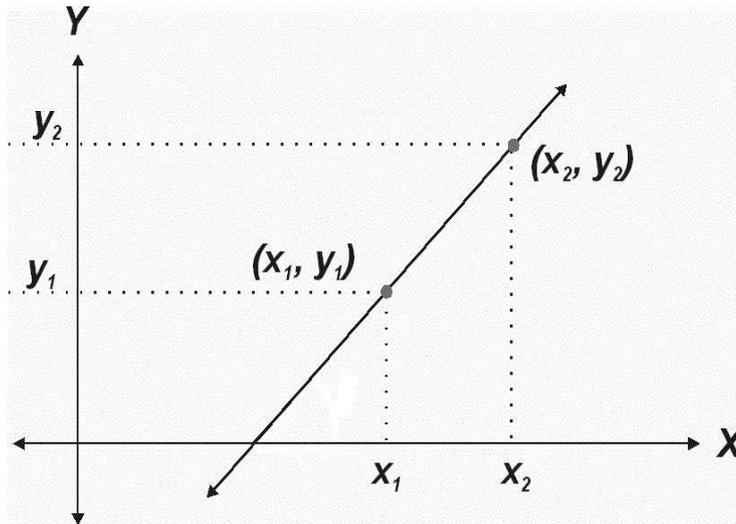


Figura 2. Escalado en una señal analógica.

Fuente: <https://www.germanmadrid.com/wp-content/uploads/2019/10/2-compressor-4.jpg>

La respuesta del sensor transmisor puede ser representada en un sistema de primer orden como se muestra a continuación:

$$G(s) = \frac{K_T}{\tau s + 1} \quad (1)$$

$$K_T = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} \quad (2)$$

donde:

K_T : Ganancia del transmisor, τ : Constante de tiempo del transmisor

- Controlador: el “cerebro”, el que toma la decisión en del circuito de control. Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- Elemento final de acción (Actuador): Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control. Frecuentemente se trata de una válvula de control, aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

1.2.2. Operaciones básicas:

- Medición: medición de la variable que se controla, se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.
- Decisión: con base en la medición, el controlador decide que hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
- Acción: como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de acción.

1.2.3. Clasificación de las variables:

- Variable controlada: variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado.
- Variable manipulada: variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el valor que se desea.
- Perturbación: cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control.
- Punto de consigna (ajuste, referencia): valor que se desea tenga la variable controlada.
- Error: Es la diferencia o desviación instantánea entre el valor medido y el valor deseado para la variable controlada, o lo que es igual, la diferencia instantánea entre punto de consigna y punto de control o medida. (Control Avanzado de Proceso, J Acedo Sánchez, p.161)
- Desviación permanente (offset). Es el error permanente que se debe a la característica inherente a la acción proporcional del controlador. Es la diferencia que existe entre punto de control y punto de consigna cuando ha terminado la acción correctora del controlador. (Control Avanzado de Proceso, J Acedo Sánchez, P.161)

1.2.4. Tipos de sistemas de control

- Sistemas de control en lazo abierto: el controlador no mantiene la variable controlada en el punto de control ni realiza una acción que afecte a la medición, es decir no hay retroalimentación.

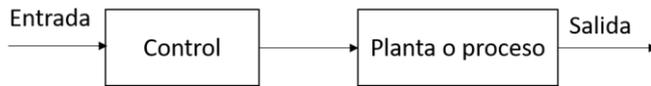


Figura 3. Lazo de control abierto.

Fuente: Ogata, 2da Edición, p.7

- Sistemas de control en lazo cerrado: el controlador compara el punto de control (la referencia) con la variable controlada y determina la acción correctiva.

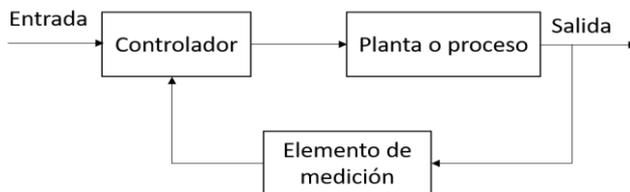


Figura 4. Lazo de control cerrado.

Fuente: Ogata, 2da Edición, p.4

1.2.5. Tipos de señales utilizadas para la transmisión:

- Neumáticas (Presión de aire): con rango de 3-15 psig
- Eléctricas (Electrónicas): con rango de 4-20 mA, 0-5 V, 0-10 V
- Digital (Discreta): 0 y 1

1.2.6. Estrategias de control

- Control feedback (retroalimentación): el controlador compensa los cambios medidos entre la variable controlada y la referencia actuando sobre la variable manipulada. Es una operación de prueba y error que se realiza mediante una estructura de lazo con realimentación.
- Control feedforward (anticipativo): el controlador compensa los cambios producidos por las perturbaciones antes de que la variable controlada se desvíe del punto de operación. Si cualquier otra perturbación entra al proceso, esta estrategia no compensará su efecto, para evitar esta desviación, es necesario agregar una compensación por retroalimentación al control feedforward.

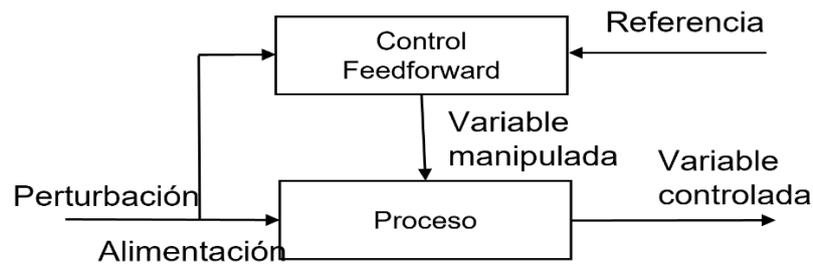


Figura 5. Representación general de un control feedforward.

- Control en cascada: el controlador compensa los cambios producidos por las perturbaciones y los retardos de variables que afectan directamente a la variable controlada, siendo esta última dependiente de la primera, usando dos lazos de control retroalimentado, donde el primario (externo o maestro) sirve de punto de operación del secundario (interno o esclavo) cuya salida es la que actúa sobre el proceso. La característica principal de esta configuración es que el lazo secundario debe ser más rápido que el lazo primario.

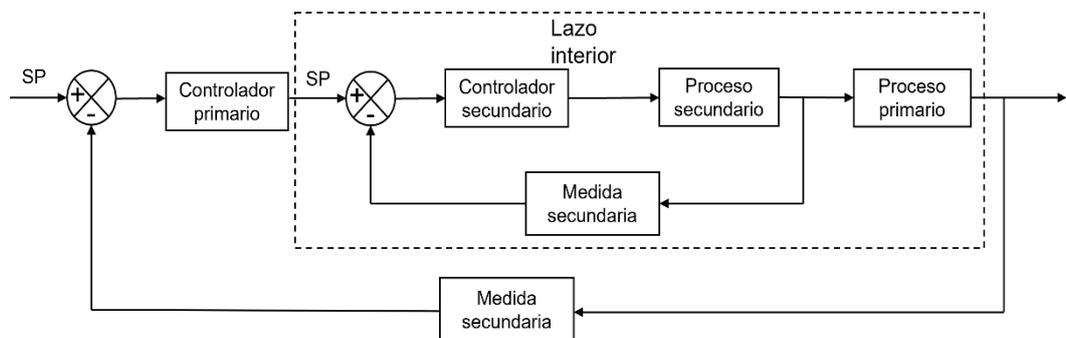


Figura 6. Representación general de un control en cascada.

1.3. Controlador Lógico Programable

1.3.1 Características generales

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (*Programmable Logic Controller*), es un controlador utilizado en la ingeniería automática, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al

ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Los primeros PLC fueron diseñados para reemplazar los sistemas de relés lógicos. Estos PLC fueron programados en "Lenguaje Ladder", que se parece mucho a un diagrama esquemático de la lógica de relés. Este sistema fue elegido para reducir las demandas de formación de los técnicos existentes. Otros autómatas primarios utilizaron un formulario de listas de instrucciones de programación.

Los PLC modernos pueden ser programados de diversas maneras, desde la lógica de escalera de relés, a los lenguajes de programación tales como dialectos especialmente adaptados de BASIC y C. Otro método es la lógica de estado, un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programar PLC basados en diagramas de estado.

La función básica y primordial del PLC ha evolucionado con los años para incluir el control del relé secuencial, control de movimiento, control de procesos, Sistemas de Control Distribuido y comunicación por red. Las capacidades de manipulación, almacenamiento, potencia de procesamiento y de comunicación de algunos PLC modernos son aproximadamente equivalentes a las computadoras de escritorio. Un enlace PLC programado combinado con hardware de E/S remoto, permite utilizar un ordenador de sobremesa de uso general para suplantar algunos PLC en algunas aplicaciones.

En cuanto a la viabilidad de estos controladores de ordenadores de sobremesa basados en lógica, es importante tener en cuenta que no se han aceptado generalmente en la industria pesada debido a que los ordenadores de sobremesa ejecutan sistemas operativos menos estables que los PLCs, y porque el hardware del ordenador de escritorio está típicamente no diseñado a los mismos niveles de tolerancia a la temperatura, humedad, vibraciones, y la longevidad como los procesadores utilizados en los PLC.

Además de las limitaciones de hardware de lógica basada en escritorio; sistemas operativos tales como Windows no se prestan a la ejecución de la

lógica determinista, con el resultado de que la lógica no siempre puede responder a los cambios en el estado de la lógica o de los estados de entrada con la consistencia extrema en el tiempo como se espera de los PLC. Sin embargo, este tipo de aplicaciones de escritorio lógicas encuentran uso en situaciones menos críticas, como la automatización de laboratorio y su uso en instalaciones pequeñas en las que la aplicación es menos exigente y crítica, ya que por lo general son mucho menos costosos que los PLC.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLC, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

Hoy en día, los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).



Figura 7. Variedad de PLC de diferentes fabricantes (Schneider, Siemens, Omron).

Fuente: www.google.com

1.3.2. Campo de aplicación de los PLC.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía

constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control o señalización, por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales hasta control de instalaciones. Sus reducidas dimensiones, la facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.

1.3.3. Criterios para la selección de un PLC.

Para seleccionar un PLC es necesario considerar ciertos requerimientos que se debe cumplir desde el punto de vista de software y hardware.

- Número de entradas y salidas. La cantidad de entradas y salidas, dependerá del esquema para el circuito a controlar, es decir depende del número de sensores y actuadores que el diseño disponga.
- Tipo de entradas y salidas. En el caso de las entradas, adaptan las señales de sensores para que la CPU las reconozca. En el caso de las salidas, activan un circuito de conexión (transistor, triac o relé) ante una orden de la CPU.
- Fuente de alimentación. Se debe verificar los niveles de voltaje necesario el cual puede variar desde 220, 110, 24, 12 voltios.
- Capacidad de memoria. Es importante definir al momento de realizar el programa, debido a que según el número de instrucciones o extensión del programa será la capacidad de memoria a utilizar.
- Programa fácil de editar. La visualización del programa debe ser editada en una pantalla en forma simple, y en cualquier lenguaje de programación.

- Poseer una memoria no volátil y de respaldo. Esta memoria de respaldo es importante ya que permite almacenar el programa necesario.
- Protocolos. Esto se refiere a los diferentes tipos de protocolos necesarios para la comunicación con los dispositivos a interactuar.

1.3.4. Programación de los PLC.

Los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas, que representaban los elementos lógicos de los programas de PLC. Los programas eran guardados en cintas, recientemente los programas del PLC son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador, y luego son descargados directamente mediante un cable o una red al PLC. Los programas son guardados en una RAM con batería propia o en otros sistemas de memoria no volátil como las memorias flash.

El programa lógico del PLC es retenido en su memoria programable y las instrucciones son almacenadas en el lenguaje del computador, es decir en código binario. Para modificar un programa o armar uno nuevo, se introducen las instrucciones o comandos al controlador desde un programador externo, el programador actualmente puede ser una consola tipo calculadora o una computadora portátil que convierte las instrucciones en formato binario y las ingresa directamente en la memoria, para mayor facilidad el programador está equipado con una pantalla y una serie de pulsadores cada uno conteniendo una función lógica específica, también se proporcionan los medios para direccionar cada punto de entrada y salida del PLC.

El trabajo del PLC se realiza en forma cíclica y las operaciones que se ejecutan en cada uno de los ciclos se muestra en la figura 3.

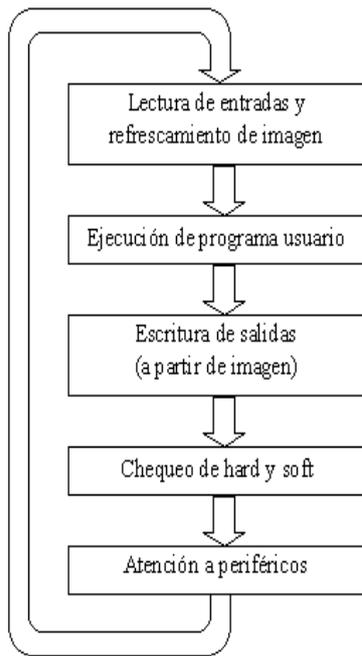


Figura 8. Ciclo de trabajo de un PLC.

Fuente: MSc. Mónica Mulet Hing, MSc. Angela Giralt Sánchez, Ing . Angel Antonio Remesal Bychko. Propuesta de automatización para el pasteurizador de la fábrica de cervezas Hatuey de Santiago de Cuba.

El interés de los usuarios por normalizar los lenguajes de programación, provocó el desarrollo del sistema internacional de programación normalizada IEC 1131- 3, el cual define cinco lenguajes de programación para los sistemas de control programables:

- ST (Texto estructurado). Similar al lenguaje de programación Pascal.
- IL (Lista de instrucciones). Similar a lenguaje ensamblador.
- LD (Esquema de contactos). Diagrama de escalera
- FBD (Diagrama de bloques funcionales)
- SFC (Carta de Funciones Secuenciales)

1.3.4.1. GRAFCET(SFC).[7]

El **GRAFCET** (*Graphe de Commande Etape-Transition*) es un método gráfico, evolucionado a partir de las Redes de Petri que permite representar los sistemas secuenciales.

Es importante destacar que el GRAFCET no sirve únicamente para describir automatismos sino para explicar cualquier sistema que sea secuencial. Así podría ser muy útil para explicar una receta de cocina, el funcionamiento de un convertidor electrónico, un plan de estudios, un ensayo de laboratorio, etc.

La creación del GRAFCET fue necesaria, entre otros motivos, por las dificultades que comportaba la descripción de automatismos con varias etapas simultáneas utilizando el lenguaje normal. Dificultades similares aparecen al intentar hacer esta descripción con diagramas de flujo o usando los lenguajes informáticos de uso habitual.

En el año 1988, el GRAFCET es reconocido por una norma internacional, la IEC-848 Preparación de diagramas funcionales para sistemas de control (*Preparation of function charts for control systems*), con los nombres *Function Chart*, *Diagramme fonctionnel* o Diagrama funcional. La norma IEC no reconoce el nombre GRAFCET porque las traducciones pueden dar lugar a ambigüedades.

Un GRAFCET es una sucesión de **etapas**. Cada etapa tiene sus **acciones** asociadas de forma que cuando aquella etapa está activa se realizan las correspondientes acciones (ver Figura 9); pero estas acciones no podrán ejecutarse nunca si la etapa no está activa.

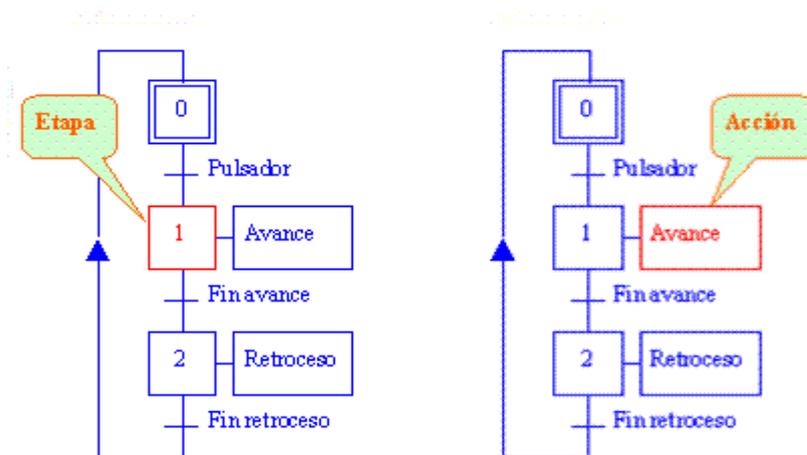


Figura 9. Principio General del GRAFCET.

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/grafcet/intro/princip1.gif>

Entre dos etapas hay una **transición**. A cada transición le corresponde una **receptividad**, es decir una condición que se ha de cumplir para poder pasar la transición. Una transición es **válida** cuando la etapa inmediatamente anterior a

ella está activa. Cuando una transición es válida y su receptividad asociada se cumple se dice que la transición es **franqueable**. Al franquear una transición se desactivan sus etapas anteriores y se activan las posteriores. Las etapas iniciales, que se representan con línea doble, se activan en la puesta en marcha.

El GRAFCET puede utilizarse para describir los tres niveles de especificaciones de un automatismo. Estos tres niveles son los que habitualmente se utilizan para diseñar y para describir un automatismo.

Los tres niveles de GRAFCET son:

- **Nivel 1: Descripción funcional:** En el primer nivel interesa una descripción global (normalmente poco detallada) del automatismo que permita comprender rápidamente su función. Es el tipo de descripción que haríamos para explicar lo que queremos que haga la máquina a la persona que la ha de diseñar.
- **Nivel 2: Descripción tecnológica:** En este nivel se hace una descripción a nivel tecnológico y operativo del automatismo. Quedan perfectamente definidas las diferentes tecnologías utilizadas para cada función. El GRAFCET describe las tareas que han de realizar los elementos escogidos.
- **Nivel 3: Descripción operativa:** En este nivel se implementa el automatismo. El GRAFCET definirá la secuencia de actuaciones que realizará este automatismo. En el caso de que se trate, por ejemplo, de un autómatas programable, definirá la evolución del automatismo y la activación de las salidas en función de la evolución de las entradas.

Los elementos fundamentales de un GRAFCET son:

1. Etapas
2. Transiciones
3. Caminos y Reenvíos

1.3.4.2. Lenguaje Ladder (LD).[10]

Llamado también diagrama de escalera es un esquema de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se llama así porque

se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones. De esta manera Las principales características de este lenguaje son:

- Instrucciones de entrada se introducen a la izquierda.
- Instrucciones de salida se situarán en el derecho.
- Los carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna y 24 V y tierra para los circuitos de CC.
- La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).
- El procesador (o "controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha

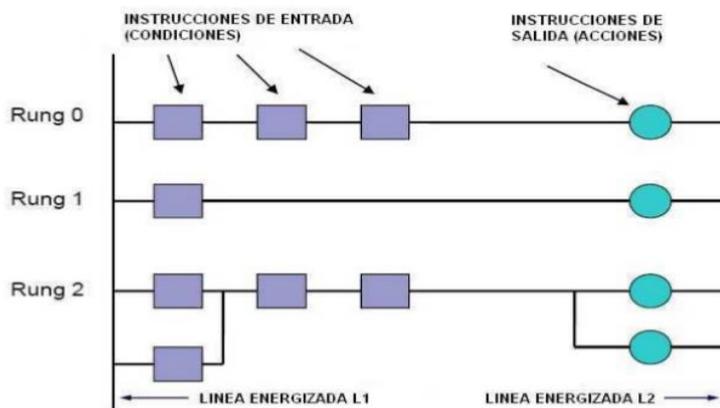


Figura 10. Descripción de la lógica Ladder

Fuente: José Luis Toral Rangel. Programación Ladder. PLC básica

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no dejar pasar la corriente de una línea a la otra. Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos normalmente abierto o normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores. Si las condiciones son verdaderas la corriente llega a las instrucciones de salida las cuales generan acciones como energizar la bobina de un motor o energizar una lámpara, por ejemplo. De esta forma el paso de la corriente a las bobinas de salida está condicionadas por la lógica que manejen las instrucciones de entradas.

Un PLC tiene muchas terminales "de entrada" y también muchos terminales de salida, a través de los cuales se producen las señales "alta" o "baja" que se transmiten a las luces de energía, solenoides, contactores, pequeños motores y otros dispositivos que se prestan a control on / off. En un esfuerzo por hacer PLC fácil de programar, el lenguaje de programación ladder fue diseñado para asemejarse a los diagramas de lógica de escalera. Por lo tanto, un electricista industrial o ingeniero eléctrico, acostumbrados a leer esquemas de lógica ladder se sentirán más cómodos con la programación de un PLC si se maneja con el lenguaje ladder.

1.4. Visualización de Procesos. Interface Hombre Maquina (HMI).

Es el acrónimo de *Human Machine Interface*. Interfaz de usuario o un panel de control en pantallas o pantallas táctiles que combina software y hardware para ayudar al operario a comunicarse entre sistemas y máquinas. Permite entre otras cosas:

- visualizar la representación de los sistemas de control,
- disponer de la adquisición de datos en tiempo real.
- Informar sobre mal funcionamiento o fallo durante el proceso
- acceso remoto o el control de todas las funciones del sistema.

Algunos beneficios clave de HMI son:

- Aumenta la tasa de producción
- Reduce la siniestralidad laboral y mejora en obra
- Ayuda a reducir los costos de hardware
- Facilita las tareas de gestión
- Ayuda a tener una producción automatizada ininterrumpida
- Ayuda a resolver problemas de mantenimiento

1.6. Comunicación y Protocolo entre el HMI y el PLC.

1.6.1 RS-232.[11]

RS-232(Recommended Standard 232) o EAI/TIA RS-232C, es una interfaz que designa una norma para el intercambio de datos binarios series entre un DTE (Data Terminal Equipment) y un DCE (Data Communication Equipment) con velocidades de hasta 20 Kbits/s. Contempla cuatro aspectos básicos:

1. Las características de la señal eléctrica.
2. Las características mecánicas de la conexión (conectores).
3. La descripción funcional de los circuitos de intercambio.
4. Ejemplos de conexiones comunes.

Inicialmente se desarrolló para conectar un ordenador con un módem, pero su aceptación hizo que se aplicase a infinidad de equipos industriales y domésticos.

Utiliza conectores SUB-D 25, que tienen disponibles 25 patillas de conexión, sin embargo, para la comunicación serie asíncrona solo define 9, dejando el resto libres para el uso particular de aplicaciones específicas o para aquellas capaces de realizar comunicaciones síncronas. Las 9 patillas fundamentales son suficientes para la mayoría de los casos, e incluso a veces basta con usar 3 ó 5.

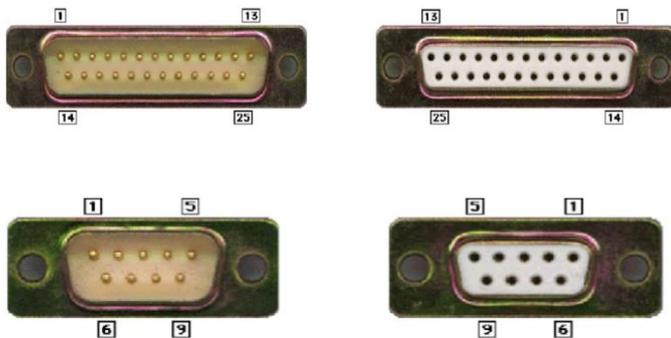


Figura 11. Conectores macho y hembra tipo DB-25 y DB-9.

Cada pin está asignado a una función específica, dentro de las más importantes están:

Señales para establecimiento de conexión: □

DTR (Data Terminal Ready): DTE operativo.

DSR (Data Set Ready): DCE operativo.

RI (Ring Indicator): el teléfono está sonando.

Señales para el control de flujo de datos:

RTS (Request To Send, Ready To Send): DTE indica al DCE cuando tiene un carácter a transmitir.

CTS (Clear To Send): DCE está listo para aceptar un carácter del DTE.

CD (Carrier Detect): DCE indica que la conexión remota está activa.

Señales de transmisión de datos:

TXD: envío de datos en el DTE, recepción en el DCE.

RXD: recepción de datos en el DTE, envío en el DCE.

Otras:

SG (Signal Ground): referencia de las señales.

PGND (Protective Ground): masa de protección.

La interfaz serie RS-232 permite control de flujo half-duplex y full-duplex. Para ello se pueden emplear protocolos hardware, basados en el uso de las señales asignadas a los pines; o software, basados en el envío de códigos especiales que controlan el flujo. Para los protocolos hardware, los más extendidos son:

RTS-CTS: Por CTS se indica que se está listo para aceptar datos.

DTR-DSR: Lo mismo, pero por DSR.

Para los softwares, los más extendidos son:

XON (11h): XOFF (13h). Basado en enviar caracteres especiales para indicar que se pueden enviar o no datos.

ENQ (?5h): ACK (?6h). Basado en solicitud y contestación.

La ventaja de los protocolos software es su compatibilidad con todos los equipos, pero a costa de un menor rendimiento.

Esta norma se aplica a una gran cantidad de productos comerciales. Dichos productos pueden ser diseñados como DTE o como DCE. En muchos casos, es interesante interconectar DTE-DTE o DCE-DCE. Para ello es necesario utilizar un cable que "engañe" a las partes para que parezca una conexión DTE-DCE. Para esto se utilizan los denominados cables null-modem o "anuladores de módem". Un cable mínimo NULL-MODEM consiste en cruzar las señales TXD y RXD y conectar las referencias de señal. Dicho cable no permitirá control de flujo hardware, por lo que, si es necesario un control de flujo, este será obligatoriamente software.

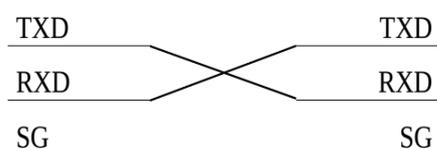


Figura 12. Conexión Null Modem mínima

1.6.2. MODBUS

Es un bus de campo abierto, utilizado en todo el mundo para conectar dispositivos de campo a un controlador principal. Proporciona una implementación Maestro-Esclavo entre dispositivos que comparten una conexión física. La conexión física puede ser RS232, RS485, RS422 o Ethernet. [16]

- Dispositivo Maestro: es el dispositivo que controla el intercambio de datos en el bus. Implementa tareas de coordinación entre diferentes esclavos (si se requiere). [16]
- Dispositivo Esclavo: son los dispositivos conectados al bus que atienden las peticiones del maestro, proporcionando información o ejecutando tareas a petición del maestro. [16]

El principio maestro-esclavo presenta las siguientes características:

- Solo 1 maestro está conectado a la red en cada momento.
- Solo el maestro puede iniciar la comunicación y enviar solicitudes a los esclavos.
- El maestro puede dirigirse individualmente a cada esclavo utilizando su dirección específica o simultáneamente a todos los esclavos utilizando la dirección 0.
- Los esclavos solo pueden enviar respuestas al maestro.
- Los esclavos no pueden iniciar la comunicación, ni con el maestro ni con otros esclavos.

El protocolo Modbus puede intercambiar información utilizando 2 modos de comunicación:

- modo de unidifusión: el maestro se dirige a un esclavo utilizando la dirección específica del esclavo. El esclavo procesa la solicitud y, a continuación, responde al maestro.
- modo de difusión: El maestro también se puede dirigir a todos los esclavos utilizando la dirección 0. A este tipo de intercambio se le llama difusión. Los esclavos no responden a los mensajes de difusión.

El protocolo Modbus utiliza 2 tipos de datos:

- Bit único
- Registro (16 bits)

Cada registro tiene un número de registro. Cada tipo de datos (bit o registro) tiene una dirección de 16 bits.

Los mensajes intercambiados con el protocolo Modbus contienen la dirección de los datos que se van a procesar.

Tabla 1. Formato de mensaje Modbus RTU.

Mensaje RTU			
Dirección	Función	Datos	CRC
1 Byte	1 Byte	0 a 252 Bytes	2 Byte

Fuente: Manual MODBUS SC-A1. SENSOCAR

1.7. Instrumentación.

1.7.1. DT301.[12]

Sensor de presión diferencial tipo capacitivo que se comunica mediante capilares con los diafragmas inmersos en el fluido de proceso, separados por una distancia fija.

La presión diferencial sobre el sensor será directamente proporcional a la densidad del líquido medido. Este valor de presión diferencial no es afectado por la variación del nivel del líquido ni la presión interna del recipiente. El transmisor capacitivo tiene también un sensor de temperatura ubicado entre los sensores de presión para efectuar la corrección y la normalización de los cálculos basado en la temperatura del proceso.

La temperatura del proceso posibilita corregir la distancia entre los diafragmas y aún la variación volumétrica del fluido de llenado de los capilares que transmiten la presión de los sensores a la célula capacitiva. Como el sensor utilizado es del tipo capacitivo emite una señal digital, y el procesamiento posterior de la unidad electrónica es también es digital, se obtiene medición de alto nivel de estabilidad y precisión.

Con la información generada y la temperatura del proceso el software de la unidad electrónica efectúa el cálculo de concentración, enviando una señal de corriente o digital proporcional a la escala de concentración seleccionada por el usuario (% de sólidos).

La misma información podrá obtenerse en el indicador digital local o de forma remota a través de la comunicación digital.

Este método de medición está inmune a variaciones de nivel del recipiente y puede emplearse tanto en tanques abiertos como en tanques presurizados. La única condición obligatoria es que ambos sensores de presión deben estar en contacto permanente con el fluido que se está midiendo.

Otra importante ventaja de este transmisor es su robustez, pues no tiene partes móviles y soporta las vibraciones de la planta, al contrario de los medidores de densidad basados en la oscilación de un elemento sensor.

1.7.2. RTD.[13]

RTD (del inglés: resistance temperature detector) es un detector de temperatura resistivo, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia. Los materiales empleados para la construcción de sensores RTD suelen ser conductores tales como el cobre, el níquel o el platino. La mayoría son de estructuras de hilo enrollado, de elemento en espiral o de capa fina.

1.7.3. Presostato.[14]

El fluido ejerce presión sobre un pistón interno en el presostato, de modo que al aumentar la presión dicho pistón se mueve y se unen dos contactos, cerrando el circuito. En cambio, cuando la presión baja el pistón se empuja en sentido contrario y los contactos se separan.

Al contrario de los transductores de presión que sirven precisamente para medir la presión, la función del presostato es la de actuar cuando se llega a la presión de apagado o a la de encendido, sin poder saberse su valor exacto. Para ajustar estas dos presiones, cuenta con un tornillo en cada caso para ajustar la sensibilidad del disparo.

Además, Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado.

Los tipos de presostatos varían dependiendo del rango de presión al que pueden ser ajustados, temperatura de trabajo y el tipo de fluido que pueden medir.

1.7.4. Interruptor vibratorio de nivel.[15]

Cuando se activa una electrónica de accionamiento piezoeléctrico vibra una barra o una horquilla a su frecuencia de resonancia. Si la sonda vibrante entra en contacto con el producto, la vibración cambia y el dispositivo emite una orden de conmutación. Los interruptores de nivel vibratorios se utilizan como protección contra sobrellenado o detectores de vacío en líquidos y sólidos a granel o en polvo.

Ventajas:

- Los interruptores de nivel vibratorios son fáciles de montar
- Puesta en marcha sin necesidad de producto
- Medición de nivel fiable, independiente de la posición de montaje, la presión, la temperatura, la espuma, la viscosidad y la granulometría.

Conclusiones Parciales.

Los temas anteriormente tratados nos dan la medida de que este proceso térmico puede tener múltiples soluciones, así como estrategias para abordarlo. Sin embargo, las prestaciones de los PLC y la manera en que a partir de su programación se puede lograr un mejor funcionamiento del sistema, lo hacen un método viable para lograr, antes de todo, que en nuestro proceso se mantenga una concentración lo más homogénea posible en la salida del producto final.

CAPITULO 2. Materiales y métodos. Propuesta del control.

Se tratará particularmente el proceso en las condiciones reales que posee y de la propuesta para la automatización, incluyendo la instrumentación y los elementos para lograr el control usando el PLC Schneider TM221C40R.

2.1. Descripción del Concentrador de Pulpa de la Fábrica de Conservas Guaso.

2.1.1. Características Principales.

Evaporador de doble efecto, de alimentación directa, de intercambiador de calor externo tubular vertical, diseñado para la concentración de pulpa de tomate, alcanzando niveles de concentración de (12-30) %. Efecto 1 de circulación natural y efecto 2 de circulación forzada. Condensador barométrico incorporado. Presión de trabajo de 1 kgf/cm². Tensión de operación 440VAC y 220VAC estos para los motores y accionamiento.



Figura 13. Concentrador de Pulpas, Fábrica de Conservas Guaso.

2.1.2. Composición y elementos auxiliares

El Concentrador de Pulpa de Tomate cuenta con los siguientes componentes, como se muestra en la Fig. 1:

1. Separador o Evaporador por cada efecto.
2. Intercambiador de calor o calandria por cada efecto.

3. Condensador barométrico.
4. Tanque de almacenamiento.
5. Tuberías de interconexión.

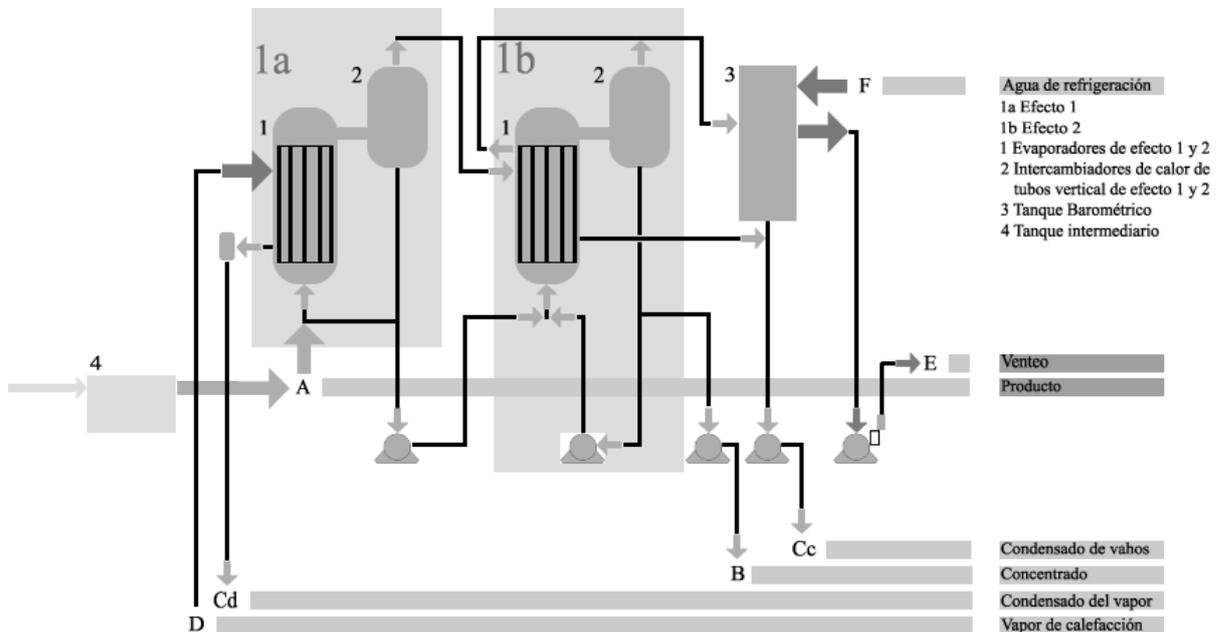


Figura 14. Esquema del Concentrador de Pulpas.

Los materiales eléctricos para el accionamiento de los motores se encuentran en un Panel Eléctrico y los motores con los que opera el sistema son:

1. Electro-bomba de trasiego de efecto 1 a efecto 2.
2. Electro-bomba de recirculación de pulpa en efecto 2.
3. Electro-bomba para el trasiego de la pulpa de efecto 2 a mezcladora o los tachos.
4. Electro-bomba centrífuga para el agua que circulará en condensador barométrico.
5. Electro-bomba de vacío.

2.1.3. Descripción del funcionamiento del Sistema

La pulpa es ingresada al Concentrador de Pulpas de Tomates desde un tanque de almacenamiento, a una temperatura de **60 °C** que debe ser aproximadamente igual a la temperatura de operación del evaporador del efecto 1. Esta pulpa precalentada es aspirada por el Concentrador, al efecto 1

que posee una presión de vacío de $-0,4 \text{ Kg/cm}^2$, directamente a la parte inferior de la calandria.

La calandria cuenta con una entrada para el suministro de vapor vivo saturado y una salida para el condensado de este vapor. El vapor es inyectado directamente a la camisa que recubre los tubos verticales por los cuales se va a trasladar la pulpa a concentrar.

La pulpa a concentrar circula a través de los tubos de la calandria ascendientemente debido al arrastre producido por los vapores resultantes y al vacío existente en el efecto, para luego ser vertida en el evaporador o separador donde se producirá una evaporación parcial y se separarán los gases de la pulpa. Esta circulación natural será continua hasta que la concentración alcance el valor deseado por el operador, y la velocidad de circulación de la pulpa estará determinada por la diferencia de temperatura entre el separador y el intercambiador de calor. La temperatura de ebullición que se alcanza es entre **(70-80)** °C. Alcanzado el valor deseado de concentración en sólidos de un **12 %** en el efecto 1 se evacua esta pulpa concentrada al efecto 2 que posee una presión de vacío de $-0,6 \text{ Kg/cm}^2$.

En el efecto 2 la calandria es alimentada por los vapores residuales del efecto 1. Tiene también una salida para el condensado de los vahos. La estructura de este es similar al del efecto 1.

En este efecto la circulación es forzada ya que la pulpa tiene un mayor porcentaje de concentración, y se torna difícil la circulación natural. La temperatura de ebullición en este efecto es en un rango de **(40-50)** °C. El valor de concentración en sólidos es de un **30 %**, alcanzado este valor se abre la válvula de salida del producto terminado.

Las condiciones que debe tener el Concentrador para su funcionamiento deben ser:

1. La bomba de vacío debe estar funcionando inicialmente, ya que de esta depende la succión del agua por el condensador barométrico, la creación del vacío en el Concentrador y la succión de la pulpa a concentrar al efecto 1.
2. La bomba de agua debe empezar a trabajar una vez que hay agua en el condensador barométrico y haya alcanzado el nivel fijado (en este caso el 50 % del rango mostrado por el visor óptico ubicado en el exterior del

condensador) por el operador para iniciar la circulación de esta del Concentrador a la Torre de Enfriamiento.

3. La pulpa de tomate debe estar precalentada a una temperatura aproximadamente igual a la de operación del intercambiador térmico del efecto 1 y estar presente en el tanque de almacenamiento alcanzando un nivel fijado por el operador dentro del mismo.

El nivel que alcanza la pulpa de tomate en los efectos se chequea controlando a que el mismo no supere el límite medio de la tubería de conexión de la calandria y el separador, esto especialmente en el efecto 1.

Cuando el Concentrador de Pulpa alcanza su régimen de trabajo nominal se continúa chequeando lo anterior y además las variables siguientes:

1. Presión del vapor de agua de suministro a la calandria del efecto 1.
2. Presión en vacío dentro de cada separador.
3. Nivel de la pulpa dentro del tanque de almacenamiento.
4. Concentración en sólidos de la pulpa de tomate en cada efecto.

2.1.4. Condiciones actuales del Concentrador de Pulpas

Luego de varias visitas a la fábrica, consultas a los técnicos y operarios, así como de la revisión que se efectuó en esta línea se pudo constatar que:

- El vapor vivo saturado es enviado directamente al Concentrador de Pulpas de Tomates sin haber elementos activos intermediarios que limiten la presión de este a la presión de trabajo del sistema, esto provoca que se creen incrustaciones en los tubos de la calandria por donde circula la pulpa.
- No se cuenta con un medidor de concentración de la pulpa, siendo esto por apreciación del operador o por las muestras que se toman para ser llevadas al laboratorio, dilatando el tiempo de procesamiento de la información.
- No se tiene un control del nivel de la pulpa dentro de los separadores, siendo esto un riesgo porque puede provocar la contaminación de la camisa de la calandria del efecto 2 y del agua que se dirige a la torre de enfriamiento, tупiendo además los sprays de la misma.

- El control del nivel de la columna de agua dentro del condensador barométrico es por método visual condicionando esto a que el mismo supere el límite establecido y pase el agua al efecto 2 y se mezcle con la pulpa.
- Este sistema posee para de la visualización de sus estados solo los instrumentos de medición siguientes:
 - ✓ un manómetro, con rango de medición de (0-1) Kgf/cm², para visualizar la presión dentro de la camisa de la calandria del efecto 1
 - ✓ un termómetro, con rango de medición de (0-200) °C, para temperatura del agua de entrada en el condensador.
 - ✓ un mano-vacuómetros instalados en la parte superior de los vasos separadores y en la calandria del efecto 2, con rango de medición de (-1 a 1.5) kgf/cm²
 - ✓ un indicador de nivel tubular de la columna de agua en el condensador barométrico.
- Todas las operaciones se realizan de forma manual, siendo el operador el supervisor y el que actúa sobre el proceso.

2.2. Arquitectura del Sistema de Control Propuesto

El sistema de control propuesto tiene como núcleo el PLC Schenider M221, el cual recibirá las señales de campo de los sensores analógicos (4-20 mA) y digitales y mediante una programación previa se mantendrán las variables a controlar en el rango de trabajo que se necesita en el proceso, ejecutando la acción on-off sobre los elementos de acción final, que en nuestro caso son las electroválvulas y las bombas. Los lazos de control de interés son:

- Control del nivel de la pulpa en los vasos separadores
- Control del nivel en el condensador barométrico
- Control de la concentración en el efecto 2
- Control del flujo de vapor

También estará conectado con un HMI para ver el estado de las variables del sistema por el puerto serie RS-232. La figura refleja cómo ha sido concebida la arquitectura de control:

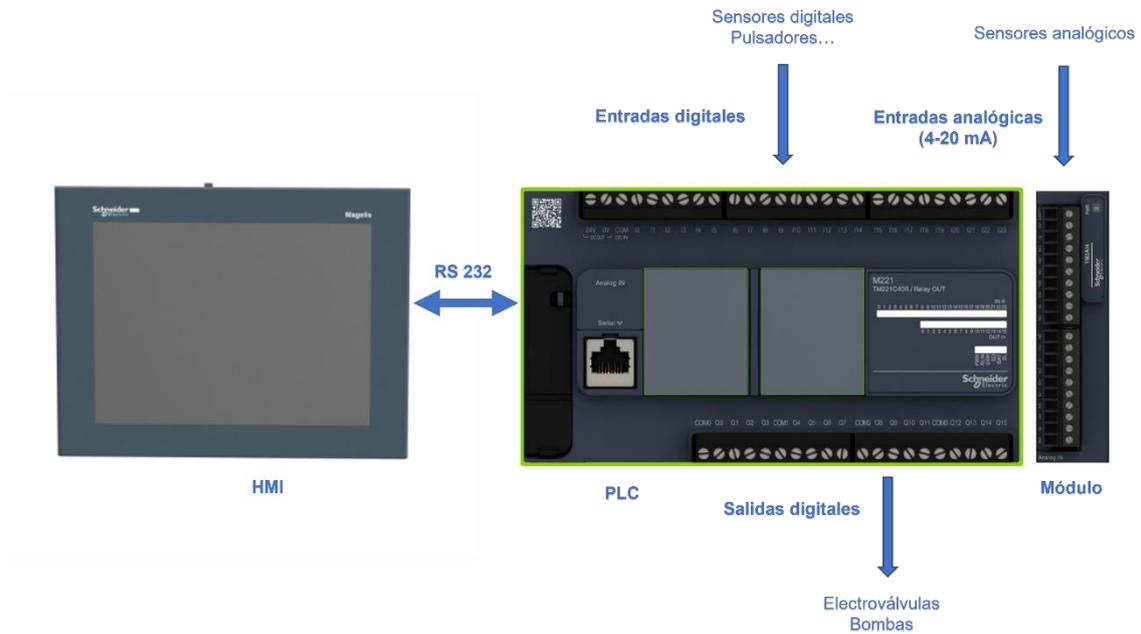


Figura 15. Diagrama de Interconexión del sistema de control propuesto

2.3. Propuesta de hardware

2.3.2. Selección del Controlador

El M221 Logic Controller de la compañía Schneider tiene una amplia variedad de funciones y puede servir para una amplia gama de aplicaciones.



Figura 16. Modelos del PLC M221.

Fuente: M221 Logic Controller. Guía de hardware.

Lenguajes de programación

La configuración, programación y puesta en funcionamiento del software se lleva a cabo con el software SoMachine Basic descrito en SoMachine Basic - Guía de funcionamiento (véase SoMachine Basic, Guía de funcionamiento) y M221 Logic Controller - Guía de programación. Compatible con los siguientes IEC 61131-3 lenguajes de programación:

- IL: Lista de instrucciones
- SFC: Diagrama funcional secuencial
- LD: Diagrama de contactos

El software SoMachine también se puede utilizar para programar estos controladores utilizando el lenguaje CFC (Continuous Function Chart).

Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es de 24 V CC o de 100-240 VCA.

Reloj en tiempo real

El M221 Logic Controller incluye un sistema de reloj en tiempo real (RTC).

Run/Stop

Se puede utilizar externamente mediante los métodos siguientes:

- un conmutador Ejecutar/Detener de hardware;
- una operación de Ejecutar/Detener de una entrada digital dedicada, definida en la configuración del software; (para obtener más información, consulte Configuración de las entradas digitales).
- SoMachine Basic software (para obtener más información, consulte Barra de herramientas (véase SoMachine Basic, Guía de funcionamiento)).
- TMH2GDB Remote Graphic Display.

Memoria

En esta tabla se describen los distintos tipos de memoria:

Tabla 2. Características del Controlador Lógico Programable M221.

Tipo de memoria	Tamaño	Uso a
RAM	512 Kbytes, 256 Kbytes de los	ejecutar la aplicación, y

	cuales están disponibles para la aplicación.	contienen datos
Flash	1,5 Mbytes, 256 Kbytes de los cuales se usan para realizar una copia de seguridad de la aplicación y los datos del usuario en caso de corte de la alimentación.	guardar el programa y los datos en caso de corte de electricidad.

Entradas/salidas incrustadas

Los tipos de E/S incrustadas que aparecen a continuación están disponibles, en función de la referencia del controlador:

- Entradas normales
- Entradas rápidas asociadas con contadores
- Salidas transistorizadas normales (común negativo y positivo)
- Salidas transistorizadas rápidas (común negativo y positivo) asociadas con generadores de pulsos
- Salidas de relé
- Entradas analógicas
- Salidas analógicas

Almacenamiento extraíble

Incorporan un slot para tarjeta SD. Usos principales de la tarjeta SD:

- Inicialización del controlador con una aplicación nueva
- Actualización del firmware del controlador

Funciones de comunicación incorporadas

Hay disponibles los siguientes tipos de puertos de comunicaciones según la referencia del controlador:

- Ethernet
- USB mini-B
- Línea serie 1

- Línea serie 2

Este tipo de PLC han sido optimizados para las instalaciones sencillas y las máquinas pequeñas: aplicaciones estándar de 10 a 100 E/S (máx. 252 E/S), ofreciendo una flexibilidad y sencillez a la hora de automatizar este tipo de aplicaciones. Cuenta con dos formatos: compacto (16/32 E/S) y el modular (16/24/40 E/S). Posee salidas de tipo PNP, NPN y relevador, conexión USB para su programación. También tiene módulos de ampliación de entradas/salidas.

Requisitos Técnicos para la selección e instalación del PLC

- Cantidad de entradas y salidas necesarias
- Tipos de señales a utilizar(analógica/digital)
- Cantidad de módulos a usar
- La alimentación del PLC debe estar protegida por un elemento desconectivo.
- Los cables para la conexión de las señales analógicas deben estar apantallados.
- Las salidas digitales deben estar desacopladas galvánicamente a través de relés.
- El PLC deberá tener las protecciones necesarias para las entradas de señales analógicas 4-20mA mediante fusibles de 32mA.
- El PLC debe estar conectado a la tierra física del sistema.

En las siguientes tablas se muestran la relación de entradas y salidas que se necesitan:

Tabla 3. Señales de entradas analógicas del PLC.

1	DIT206	Sensor de concentración en el efecto 2
2	TT202	Sensor de temperatura en el vaso separador del efecto 1

Tabla 4. Principales señales de entradas digitales del PLC.

1	LT211	Sensor de nivel máximo de llenado en vaso separador del efecto 1.
---	-------	---

2	LSH204	Sensor de nivel máximo de producción en vaso separador del efecto 1.
3	LSL204	Sensor de nivel mínimo de producción en vaso separador del efecto 1.
4	LT212	Sensores de nivel máximo de llenado en vaso separador del efecto 2.
5	LSH208	Sensores de nivel máximo de producción en vaso separador del efecto 2.
6	LSL208	Sensores de nivel mínimo de producción en vaso separador del efecto 2.
7	SI	Inicio del proceso
8	LSH210	Sensores de nivel máximo de la columna de agua en condensador barométrico.
9	LSL210	Sensores de nivel mínimo de la columna de agua en condensador barométrico.
10	PIT209	Sensor de presión mínima de vacío en el condensador barométrico.
11	S1	Pulsador NA de arranque de M1
12	S2	Pulsador NC de parada de M1
13	S3	Pulsador NA de arranque del M2
14	S4	Pulsador NC de parada de M2
15	S5	Pulsador NA de arranque de M3
16	S6	Pulsador NC de parada de M3
17	S7	Pulsador NA de arranque de M4
18	S8	Pulsador NC de parada de M4
19	S9	Pulsador NA de arranque de M5
20	S10	Pulsador NC de parada de M5
21	SMA	Selector de modo de operación manual / automático.
22	PE	Pulsador de parada de emergencia
23	N1	Sensor de nivel máximo de la pulpa en tanque de almacenamiento.
24	N2	Sensor de nivel mínimo de la pulpa en tanque almacenamiento.

Tabla 5. Señales de salidas digitales del PLC.

1	V201	Electroválvula de entrada de vapor
2	V204	Electroválvula de entrada del producto al EF1
3	V208	Electroválvula de trasiego de producto del EF1 al EF2.
4	V206	Electroválvula de salida del concentrado en EF2.

5	M1	Motobomba de trasiego de producto del EF1 al EF2.
6	M2	Motor del tornillo sin fin de recirculación en el EF2.
7	M3	Motobomba de salida del concentrado en EF2.
8	M4	Motobomba de vacío.
9	M5	Motobomba de agua.

Para este proyecto se seleccionó la CPU TM221C40R Schneider que posee:

- 24 entradas digitales (4 rápidas y 20 normales)
- 16 salidas digitales a relé
- 2 entradas analógicas
- 2 puertos de comunicación: serie 232/485, USB mini-B
- Indicadores LED de estado
- Bloques de terminales extraíbles de entrada y salida
- Slot para tarjeta SD y para cartucho
- Interruptor Run/Stop

Este PLC es de tipo modular, lo que significa que se le acoplan módulos de entrada/salida según la cantidad de señales a utilizar. En este caso en particular se usó 1 modulo TM314/G de entradas analógicas.

2.3.2. Selección de Sensores

A partir de las exigencias del proceso y de la necesidad de medición de las variables para el control se seleccionaron los siguientes instrumentos reflejados en la tabla:

Tabla 6. Instrumentación propuesta al campo.

Identificación	Descripción	Fabricante
N1	Interruptor para límite de nivel liquiphant FTL 330H, tipo vibratorio para productos alimenticios, diseño compacto con carcasa en acero inoxidable, con led indicador del estado del contacto,	Endress+Hauser
N2		
LT211		
LSH204		

LSL204	conexión al proceso tipo rosca sanitaria DN50, sello de anillo con collar como accesorio, superficie del sensor estándar, conexión eléctrica de tres hilos DC (PNP) 10 a 55 V, tiempo de retardo de conmutación 0.5/1.0 s, Código: FTL330H-R-M-A-Z-O	
LT211		
LSH208		
LSL208		
LSH210		
LSL210		
TT202	Sensor de temperatura rtd para procesos sanitarios y conexión alimenticias. Conexión al proceso tipo ISO 2852 Clamp Flange DN 25/38-AISI316L, longitud de extensión 82 mm, longitud del tubo de inmersión 90 mm, material y dimensiones del tubo AISI 316 Ti/W.1.4571 - 9mm diámetro, punta recta, conexión eléctrica aérea, rango: 0-150 grados Celsius, tipo de transmisor 4-20 mA, Código: TST14-BB-3-B-A-S-2-B-B-AA-B	
PIT209	Presostato electrónico DS 400 con pantalla digital, de acero inoxidable, salida digital PNP configurable de 125 mA, entrada de -1 a 0 bar, conexión eléctrica M12 de 5 pines, fuente de 15 a 36 VDC, conexión a proceso 1/2 NPT, Código:DS400-7A0-X102-KH-0-1-3-N11-N00-1-000	BD/SENSORS
DIT206	Transmisor inteligente sanitario de concentración y densidad, modelo sanitario DT301, transmisión 4-20 mA, rango 0,5 a 1,8 g/cm ³ , partes húmedas 316L SST, indicador local, tipo de montaje top, O-Rings Buna-N, con adaptador para tanque 316 SST, con Tri-Clamp en 304 SST, material de la carcasa 316 SST, IP66, rango: 0-100% de sólido en suspensión, Código: DT301S-1-I-G-1-0-1-J-B-1-1-J6-H1-J0-Y5-P9	SMAR

2.3.3. Selección de Elementos de Acción Final

Se deberán ubicar válvulas de control(on/off):

- Entre el tanque de almacenamiento y la entrada de la calandria del efecto 1.
- antes de la electrobomba de trasiego de la pulpa del efecto 1 al efecto 2.
- antes de la electrobomba de trasiego final, del efecto 2 al tanque mezclador.
- en la tubería de entrada a la calandria del efecto 1, para el caudal del vapor de agua.

Para la selección de las válvulas se tuvo en cuenta:

- Dimensionamiento de las tuberías
- Características asépticas al ser un proceso alimentario
- Rango de temperatura y presión en el proceso
- Tipo de fluido que circula

Estas fueron seleccionadas de la siguiente forma:

Tabla 7. Válvulas propuestas.

CV204	Válvula de mariposa con actuador eléctrico sanitario	COVNA
CV208	HK60-DW, DN20, con actuador eléctrico COVNA-05-B,	
CV206	tipo ON/OFF con retroalimentación de señal de contacto pasiva, alimentación	
CV210	220volt, Tipo de conexión: roscada, IP65	

CV201	Válvula de bola con actuador eléctrico HHK60-QF, DN80, con actuador eléctrico COVNA-30-B, tipo ON/OFF con retroalimentación de señal de contacto pasiva, alimentación 220volt, Tipo de conexión: brida, IP65	
-------	--	--

2.4. Propuesta del software

Para obtener la correcta secuencia de trabajo de los dos evaporadores y del tanque barométrico es necesario en primera instancia entender el funcionamiento del sistema representándolo en Graceft y luego usar esta lógica para programar lo que va a hacer el PLC mediante el programa Somachine Basic en lenguaje LD.

2.4.1. Algoritmo de Trabajo del Sistema. Grafcet del Proceso.

El proceso consta de una etapa inicial, una etapa secuencial y otra regulatoria.

➤ 0: Condiciones Iniciales

El sistema cuenta con dos modos de operación: uno en manual y otro en automático que podrá ser seleccionado por el operario.

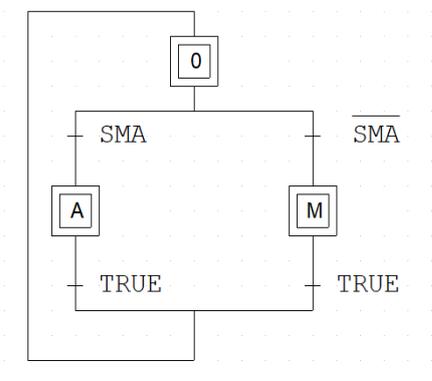


Figura 17. Graceft de tercer nivel de la selección del modo de operación.

- **A (Modo Automático):** Todas las operaciones se realizan de forma automática. El sistema será supervisado constantemente desde el PLC y las acciones se realizarán acorde con los estados o valores de las variables medidas.

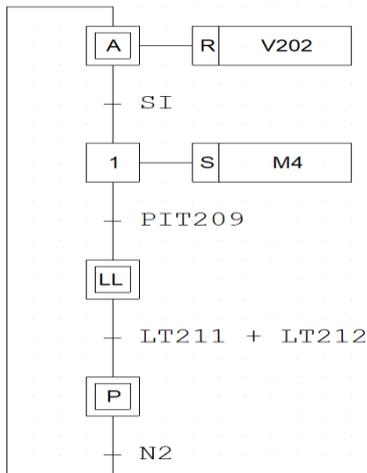


Figura 18. Graceft de tercer nivel del modo automático.

- **M (Modo manual):** El operador podrá parar y arrancar las electrobombas y accionando las válvulas manualmente. Podrá también pulsar la parada de emergencia que detiene el proceso.

➤ **LL: Etapa de llenado**

Después de alcanzado el mínimo de vacío necesario se llenan los evaporadores de cada efecto antes de comenzar el régimen nominal de trabajo. Se usarán sensores vibratorios de nivel para saber cuando se alcanzó el máximo de llenado en cada vaso. como se muestra en el siguiente Graceft

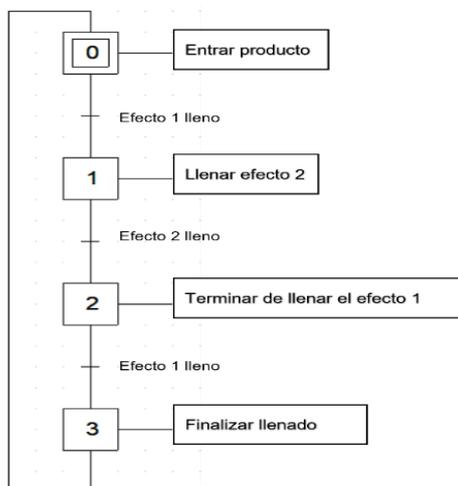


Figura 19. Graceft de primer nivel del llenado.

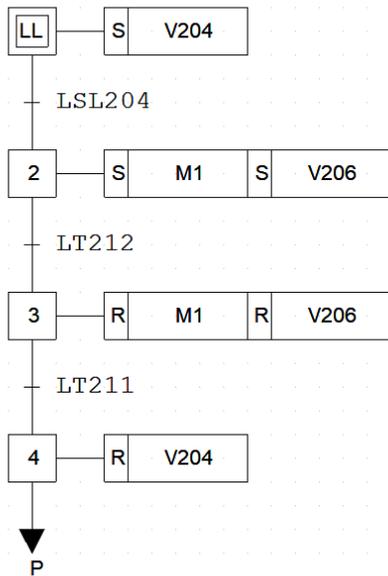


Figura 20. Graceft de tercer nivel del llenado.

➤ **P: Etapa de Producción**

Se abre la válvula de vapor para comenzar el calentamiento del producto en el primer efecto y por consiguiente el proceso de concentrado. En esta etapa se vela que las variables controladas se mantengan en un rango deseado midiendo directamente en el campo y mediante el PLC se actúe en las electroválvulas y motores correspondientes. Estas variables cuyo control on-off se van ejercer son:

- **Control del nivel de la pulpa en los vasos separadores**

Se necesita que los vasos se mantengan en los niveles de producción prefijados por el operador para que haya una producción continua. Para ello se encontrarán interruptores vibratorios de nivel ubicados en los extremos de este rango el cual avisará cuando se alcancen, encendiendo o apagando las electroválvulas y motores correspondientes.

- **Control del nivel en el condensador barométrico**

Al igual que en los evaporadores, el PLC llequeará el nivel a partir de la señal de los interruptores vibratorios. El valor máximo que puede alcanzar la columna de agua es 50% del recorrido del visor que posee el condensador, alcanzado este valor se enciende la bomba de extracción de agua hasta que se alcance el

40% del recorrido. En este rango la presión del sistema no se ve muy afectada por el condensador barométrico ya que cuenta con una válvula de tres vías que esta ajustada para que entre el agua proporcionalmente al vapor condensante que pasa a esta zona.

- **Control de la concentración en el efecto 2**

El sensor de concentración del Efecto 2 mantendrá actualizado al PLC. Alcanzado el rango de concentración que se necesita (>30% de concentración en sólido) se abrirá la válvula de salida del producto en el efecto 2.

- **Control del flujo de vapor**

La temperatura necesaria en el la calandria del efecto 1 es entre 70-80 °C que debe ser la temperatura que posee el producto que sale del tanque de almacenamiento. Por lo que es necesaria mantener este rango a partir de la manipulación de la electroválvula de vapor usando la medición del sensor de temperatura RTD ubicado.

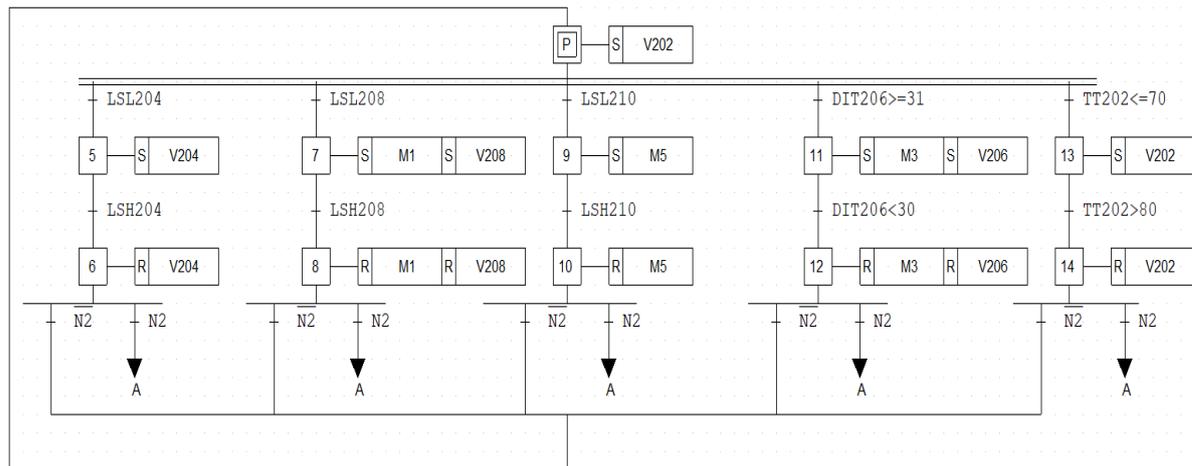


Figura 21. Graceft de tercer nivel de la producción.

2.4.3. Alarmas y protecciones

El sistema está concebido para la detección e información de eventos que puedan afectar el sistema. Están tipificadas las respuestas ante la presencia de factores adversos en dependencia de la severidad de los mismos.

Ante la ocurrencia de eventos adversos, la primera respuesta del sistema es la de anunciarlo a través de una alarma audiovisual y se muestra en el HMI la descripción de la falla que ha ocurrido, para ello se cuenta con una codificación de mensajes de error que es activada al ocurrir un suceso anormal. El operador podrá detener parcial y/o completamente el proceso a través de los botones de parada de emergencia .

Además, a partir de experiencias en otras investigaciones se realizó una tabla de análisis de riesgos que pudieran ocurrir durante la sección del proceso que se investiga y con la cual se elaboró parte de la estrategia para la programación de las alarmas y protecciones.

Tabla 8. Análisis de riesgos en el proceso.

Qué pasa si	Posible consecuencia	Protección
Nivel de llenado del evaporador 1 es bajo	Se quema el producto produciendo incrustaciones y daño a las bombas	Detener el flujo de vapor y el flujo de salida del efecto 1
Nivel de llenado del evaporador 2 es bajo		Detener el flujo de vapor y el flujo de salida del efecto 2
Nivel de llenado del evaporador 1 es alto	Imposibilidad de recirculación del producto	Detener el flujo de entrada del producto al efecto 1
Nivel de llenado del evaporador 2 es alto	Desbordamiento del producto	Detener el flujo de salida del efecto 1
Alta concentración	Se quema el producto y pierde sus propiedades organolépticas	Detener el flujo de vapor
Baja concentración	El producto no tiene la calidad requerida	Detener el flujo de salida del efecto 2
Alta presión de vapor	Se quema el producto	Detener el flujo de vapor
Sobrecarga de las bombas	Daño de las bombas y afectación en el proceso	Implementación de la protección térmica

2.4.4. Software a utilizar

Para la programación del PLC y del HMI se usará los siguientes programas respectivamente:

2.4.4.1. Software SoMachine Basic

Es un software que ofrece un entorno de desarrollo gráfico, lleno de funciones para crear, configurar y mantener aplicaciones de automatización para los autómatas programables M221, de la plataforma Machinestruxure de Schneider Electric, permite reducir de forma significativa el tiempo de desarrollo de los proyectos simplificando todas las intervenciones usando dos de los lenguajes IEC61131: Diagrama de contactos (LD) y listado de instrucciones (IL). Compatible con sistemas operativos de Microsoft Windows (XP, 7 y 8 de 32 ó 64 bits).

Las principales funciones del software son:

- Interface de usuario intuitiva y orientada a proyectos.
- Diseño de software sin menús. Las tareas y funciones del paso seleccionado de un proyecto siempre se encuentran visibles.
- Soporte de programación y configuración.
- Comunicación con el autómatas.
- Ayuda de primera mano acerca del nivel de tareas que ofrece enlaces relevantes a la ayuda en línea.

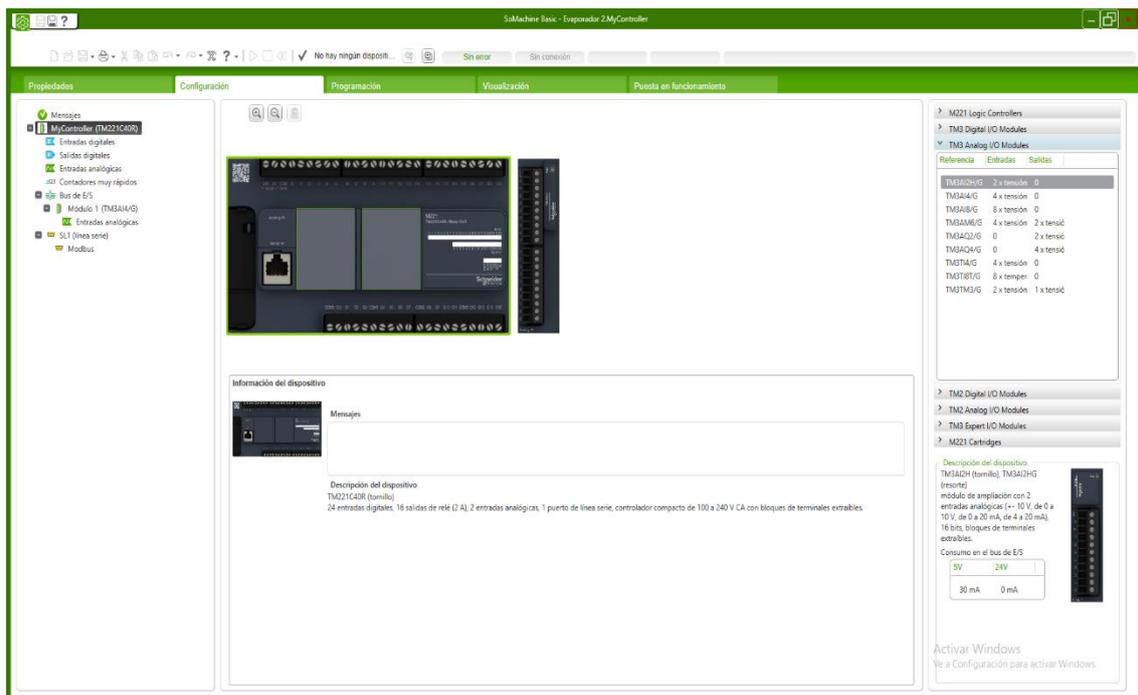


Figura 22. Configuración del PLC y de los módulos en el Somachine Basic.

Configuración de línea serie

Ajustes de protocolo

Protocolo **Modbus**

Configuración de línea serie

Velocidad de transmisión **19200**

Paridad **Par**

Bits de datos **8**

Bits de parada **1**

Medio físico

RS-485

RS-232

Polarización **No**

Figura 23. Configuración de la línea serie en el Somachine Basic.

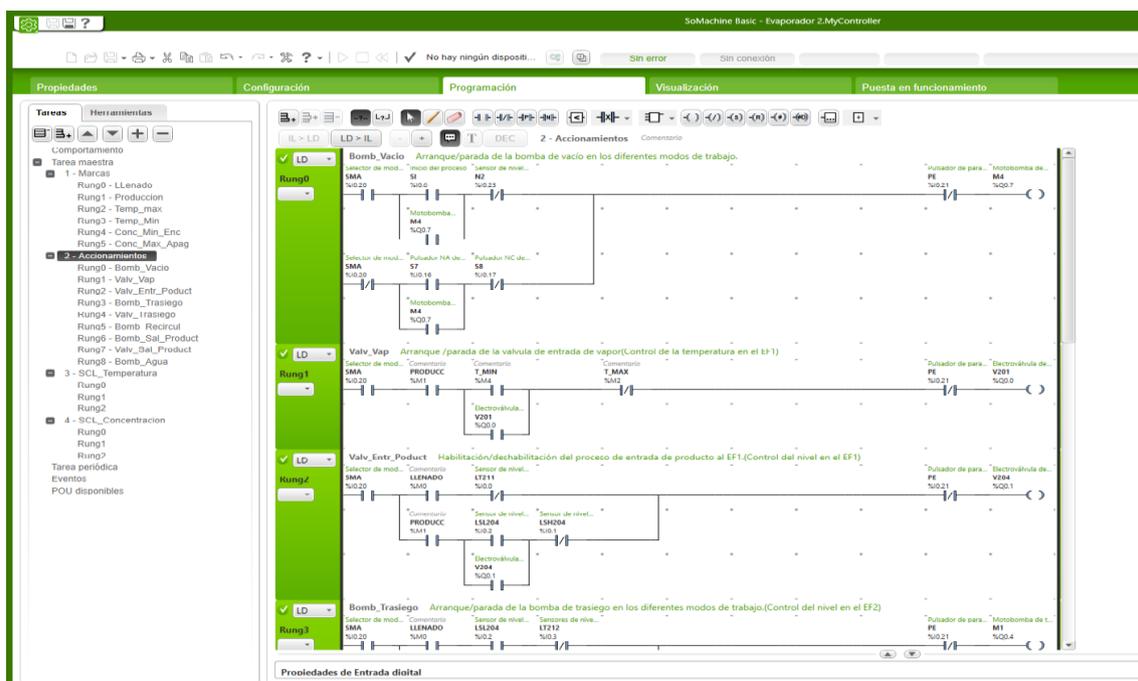


Figura 24. Programación LD en el Somachine Basic.

La programación del escalamiento de las señales analógicas se estableció a partir de las ecuaciones:

$$y_T = K_T(x_T - 4000) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$y_c = K_c(x_c - 4000) \text{ \% de solidos en suspension} \quad (4)$$

$$y K = \frac{\text{Rango de medicion del sensor}}{\text{Rango de la señal de salida del transmisor}} \quad (5)$$

donde:

y_T : valor de temperatura a calcular

x_T : valor de temperatura medido

y_c : valor de concentración a calcular

x_c : valor de concentración medido

K_T : Ganancia de la temperatura

K_c : Ganancia de la temperatura

Por lo que

$$K_T = \frac{150 - 0}{20 - 4} = 9.37 \quad \text{y} \quad K_c = \frac{100 - 0}{20 - 4} = 6.25$$

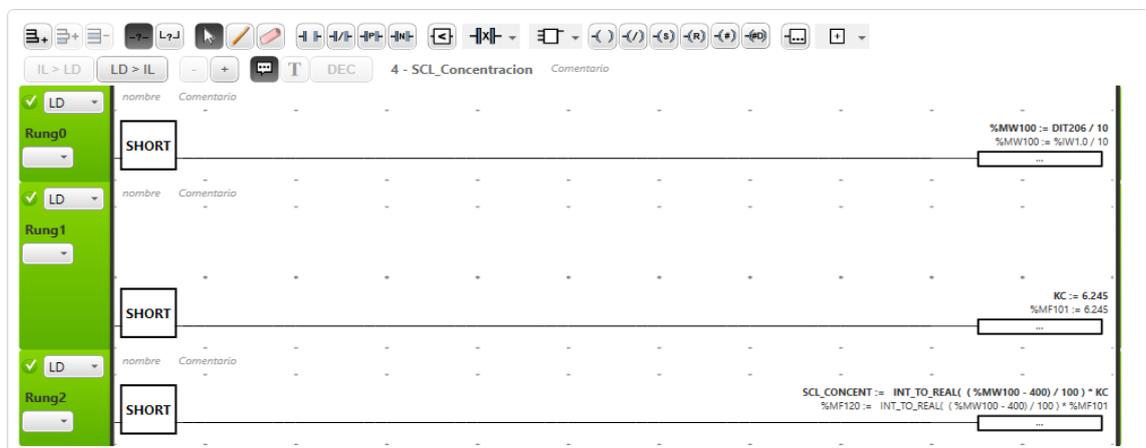


Figura 25. Escalamiento de señales analógicas el Somachine Basic (Concentración).

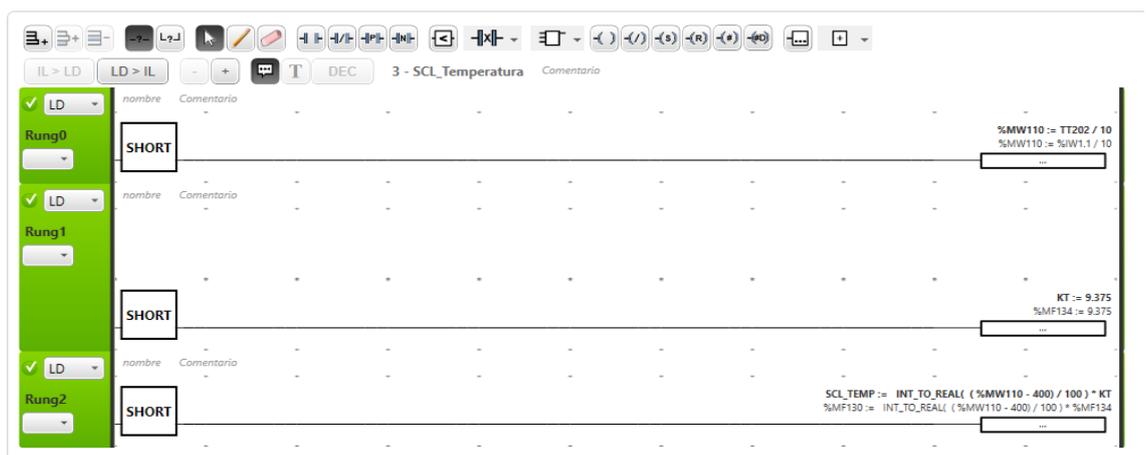


Figura 26. Escalamiento de señales analógicas el Somachine Basic (Temperatura).

2.4.4.2. Vijeo Designer

Programa para los diseños de ambientación de los HMI de la firma Schneider. Permite tratar de manera simple y rápida proyectos de diálogo operador gracias a su ergonomía evolucionada en torno a 6 ventanas configurables. Ofrece también herramientas completas de gestión de las aplicaciones:

- creación de proyectos compuestos por una o varias aplicaciones.
- referencias cruzadas de las variables de las aplicaciones.
- documentaciones de sinópticas de la aplicación.
- 2 modos de simulación para probar fácilmente la aplicación en desarrollo.
- editor gráfico de altas prestaciones para una creación fácil de las sinópticas.
- 8 tipos de animaciones con objetos para sinópticas avanzadas.
- gestión de alarmas, de recetas, de ayuda en línea (Pop-Up).
- conexión con las bases de símbolos de autómatas Telemecanique.

Vijeo Designer integra las funciones evolucionadas siguientes:

- Data Sharing : comparte datos entre terminales sobre Ethernet TCP/IP.
- Data Manager:
 - transferencia FTP de los ficheros históricos, recetas, datos salvados.
 - editor de recetas.
 - conversión de formatos de ficheros.
 - concatenación de los ficheros de datos de salvados.
- Impresión a través del puerto USB y/o Ethernet TCP/IP de la terminal.
- Web Gate: visualización y operación de la terminal a distancia.
- Web Server: diagnóstico distante de la terminal.

Multimedia: gestión de fuentes de video (RCA sobre XBTGT, USB e IP sobre XBTGTW) y el sonido.

2.5. Valoración Económica de la Propuesta.

Gracias a la información brindada por CEDAI Guantánamo se pudo hacer un cálculo aproximado de parte de la inversión inicial que se proyecta utilizar:

Tabla 9. Inversión primaria del proyecto.

Compra de:	Valor USDD
Instrumentación	31857,74
Elementos de acción final	19124,21
Equipos para el control	23274.11
Materiales de montaje	14751,32
Total	89007,38

La recuperación del gasto realizado será posible a mediano y largo plazo debido a que depende de la disponibilidad de la materia prima a concentrar (producción de los campesinos, tiempo de cosecha, transportación, etc.). Sin embargo, será apreciable el ritmo y la calidad de la producción con relativo a si esta está funcionando manualmente, pudiéndose aumentar los índices de ventas, traduciéndose en más ingresos y en la satisfacción del cliente a la hora de comprar, y pudiendo fortalecer su presencia en el mercado nacional e internacional y así sustituir importaciones.

Conclusiones Parciales.

En este capítulo se seleccionaron, describieron, y configuraron la instrumentación, el PLC y demás equipos que integran el control necesario para garantizar la puesta en práctica de la automatización cumpliéndose las tareas planteadas en el trabajo.

CONCLUSIONES GENERALES

La automatización en las industrias es una necesidad propia de los tiempos modernos, donde es imprescindible llevar de la mano calidad y productividad para lograr a la vez sustentabilidad y sostenibilidad. El uso de los PLC ha sido clave para desarrollarla. Por lo que este trabajo estuvo encaminado a dar este tipo de solución al problema presente en nuestro proceso, para ello: se analizaron las características del proceso y de los diferentes elementos que intervienen en la propuesta, se diseñó un sistema de control utilizando PLC, se propuso la instrumentación de campo necesaria teniendo en cuenta el aspecto económico en la selección, cumpliéndose las tareas de la investigación. Por lo que implementar todo lo descrito supone un salto cualitativo en el rendimiento de la Fábrica de Conservas Guaso y a su vez en beneficios, tanto para la localidad como para el país.

RECOMENDACIONES

1. Analizar más detalladamente el proceso para obtener un modelo matemático exacto del comportamiento de las variables y poder utilizar un control PID para lograr una mejor estabilidad.
2. Estudiar otros métodos para el control como las redes neuronales o multivariantes.
3. Implementar la estrategia de supervisión usando SCADA.

BIBLIOGRAFIA

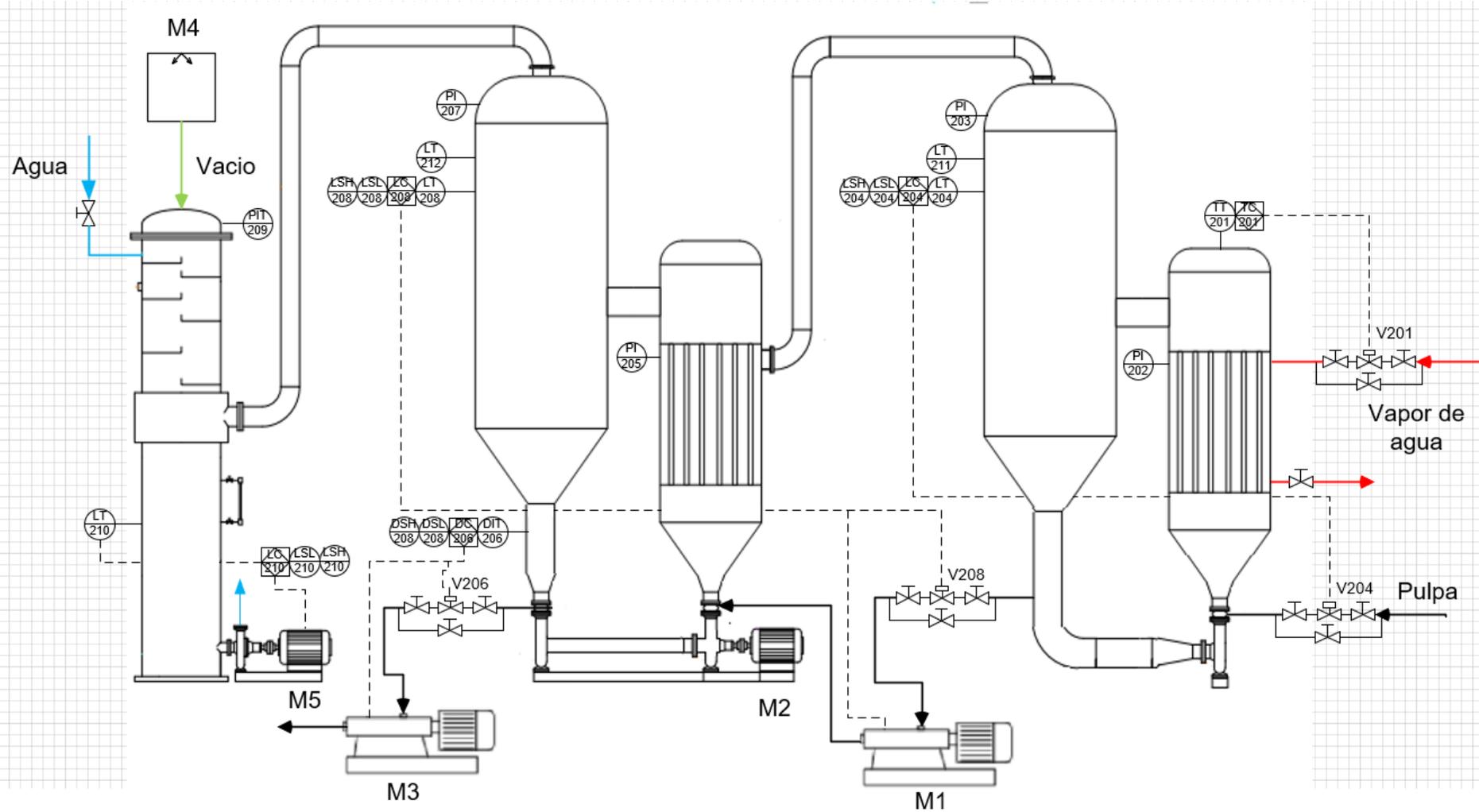
1. Ibarz, A. & Barbosa, V. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos.
2. McCabe, W. L.; Smith, J. C.; Harriot, P. Operaciones unitarias en ingeniería química.
3. Jerry Leodan Mena Nagua, "Modelación, simulación y control de un evaporador de doble efecto como herramienta didáctica para control de procesos."
4. Hackett, Bryan W., The essentials of continuous evaporation. Chemical Engineering Progress, 2018. vol. 114, no. 5, pp. 24-28.
5. <https://www.becker-international.com/es/es/que-tipos-de-bombas-de-vacio-existen-y-como-funcionan.htm>
6. Anderson Vera Correa. Diseño de un sistema de control automático para el evaporador doble efecto del laboratorio de ingeniería química de la Universidad de Pamplona.
7. Smith, C. Corripio, A. (1991). Principles and practice of automatic process control, Second Edition.
8. K. Ogata: Ingeniería de Control Moderna. 3ra Edición.
9. Control Avanzado de Proceso, J Acedo Sánchez
10. José Luis Toral Rangel. Programación Ladder. PLC básica
11. Ángel Perles. Sistemas Informáticos Industriales. Apuntes de Comunicación serie.RS-232.
12. <https://www.smar.com/es/articulo-tecnico/medicion-continuada-de-densidad-y-concentracion-en-procesos-industriales>
13. <https://www.prelectronics.com/es/los-fundamentos-de-los-sensores-de-temperatura-rtd/>
14. <https://www.miancr.com/presostatos/>
15. <https://es.linkedin.com/pulse/b%C3%A1sicos-de-nivel-interruptores-tipo-vibratorios-para-l%C3%ADquidos>
16. MANUAL MODBUS SC-A1. SENSOCAR
17. https://product-help.schneider-electric.com/ED/ES_Power/PP-HJL_Modbus_Guide/EDMS/0611IB1303/0611IB13xx/NSX_MB_Modbus_Protocol/NSX_MB_Modbus_Protocol-2.htm

Otras fuentes:

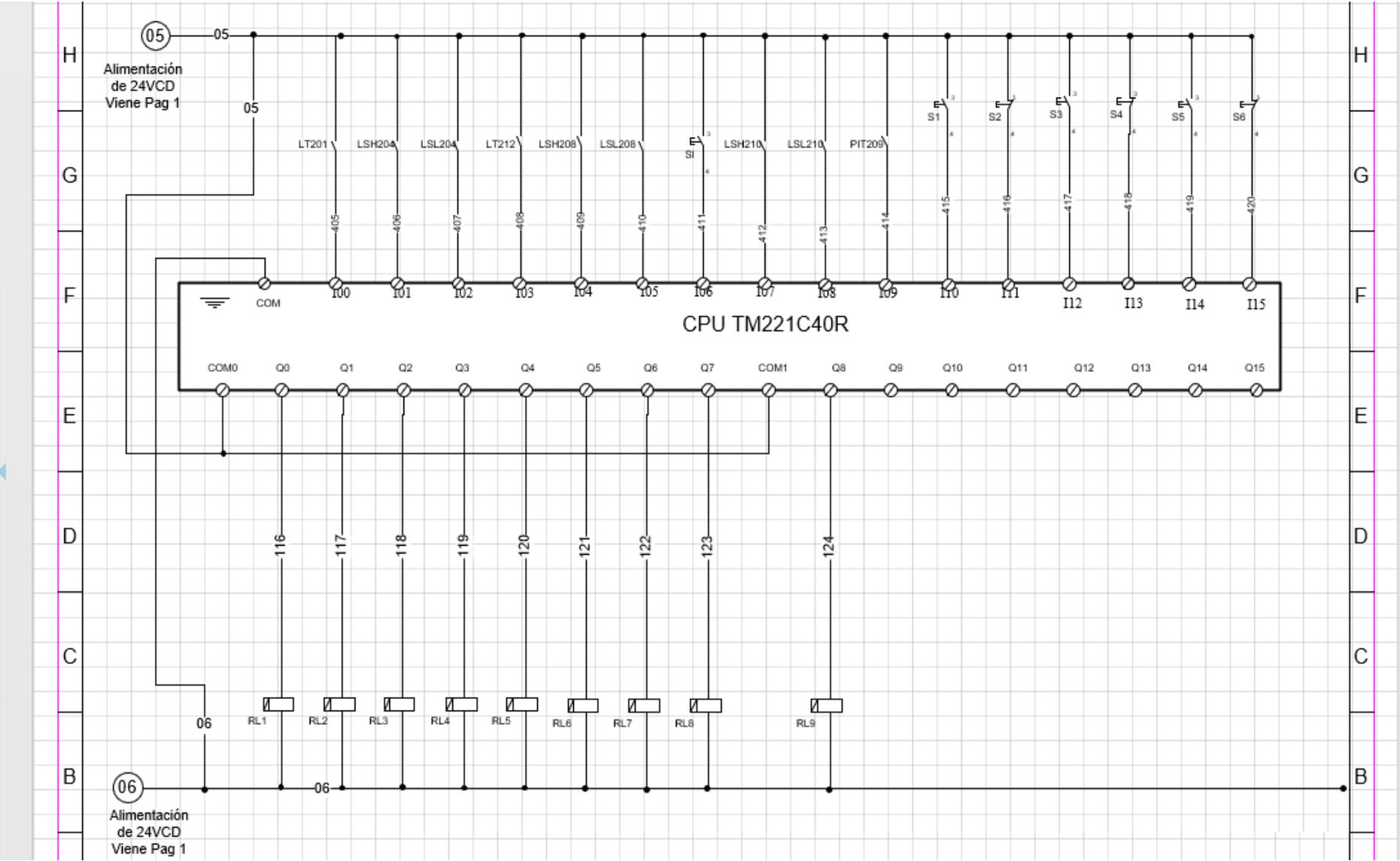
- Favio Iván Domínguez Albores, “Automatización con PLC de un Evaporador de Triple Efecto.”
- Andrés Murillo Barrios. Automatización de dos lazos de control para el proceso evaporación de leche en una línea de producción de leche condensada.
- Vibración_ detección de nivel límite mediante interruptor de nivel vibratorio - VEGAModicon
- M221 Logic Controller. Guía de hardware.
- SoMachine Basic. Manual de formación M221.
- Vijeo Designer. Manual de información.
- <https://recursos.citcea.upc.edu/grafcet>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/GRAFCET>
- <https://www.covnavalve.com>

ANEXOS

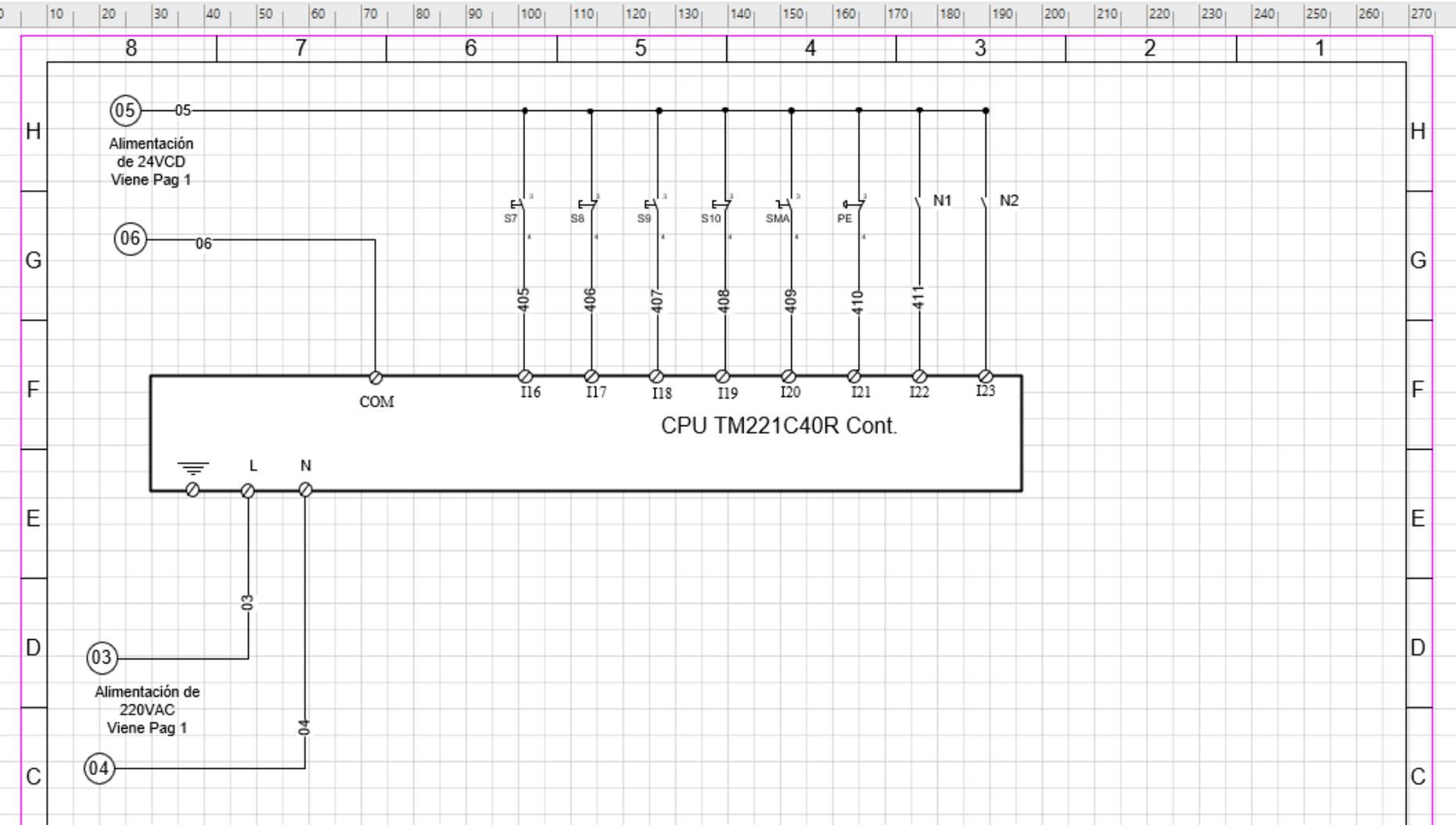
Anexo 1. Diagrama PI&D del proceso



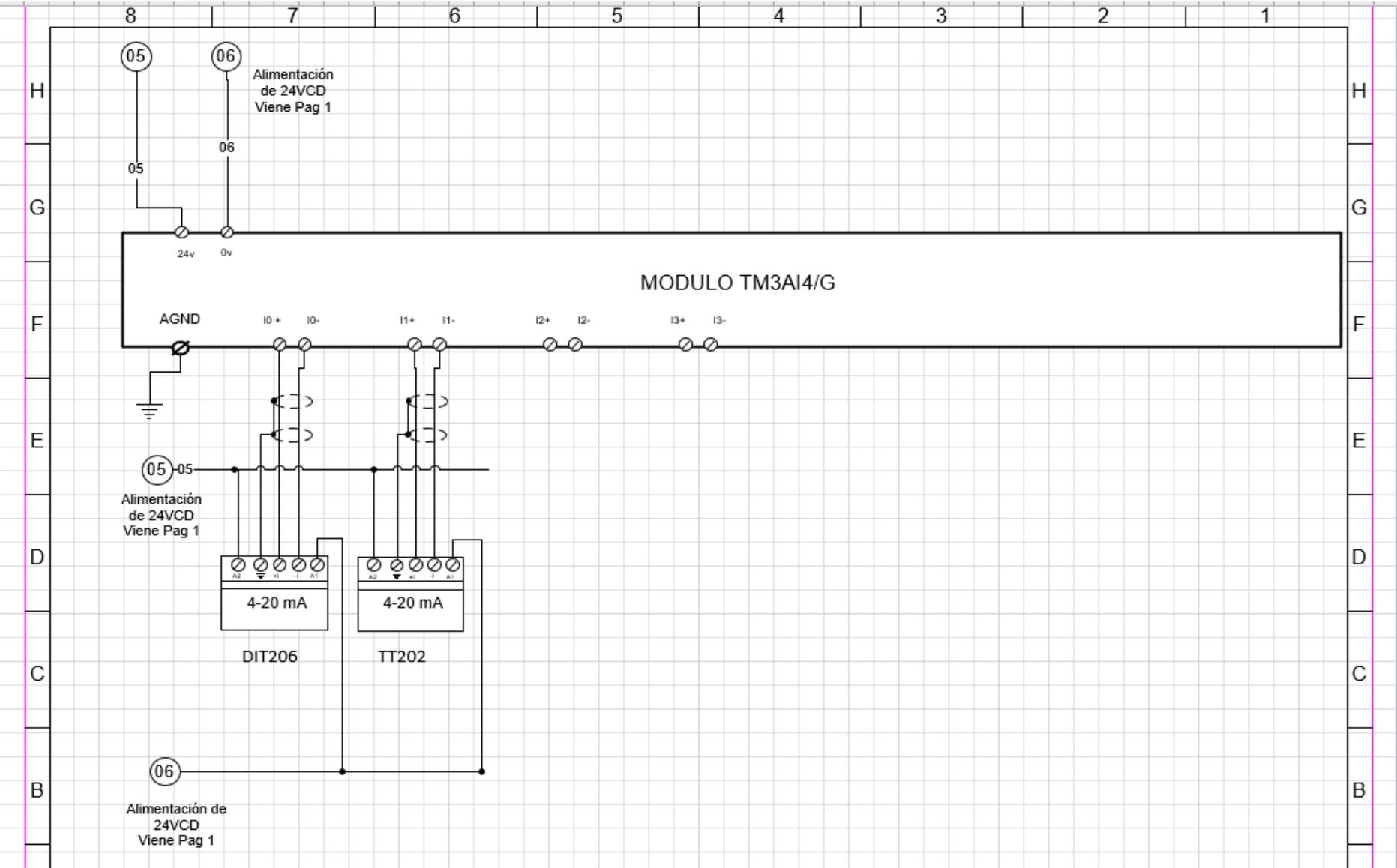
Anexo 2. Conexión de la CPU con las entradas y salidas digitales.



Anexo 3. Conexión de la CPU con las entradas y salidas digitales (Continuación).



Anexo 4. Conexión del módulo de entradas analógicas con los sensores.



Anexo 5. Instrumentación.



Válvula de globo con actuador electrónico



Válvula de mariposa con actuador electrónico



Sensor vibratorio de nivel



Sensor de concentración capacitivo



Presostato

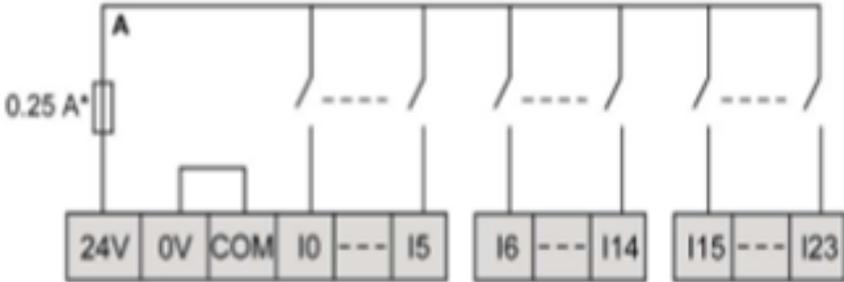
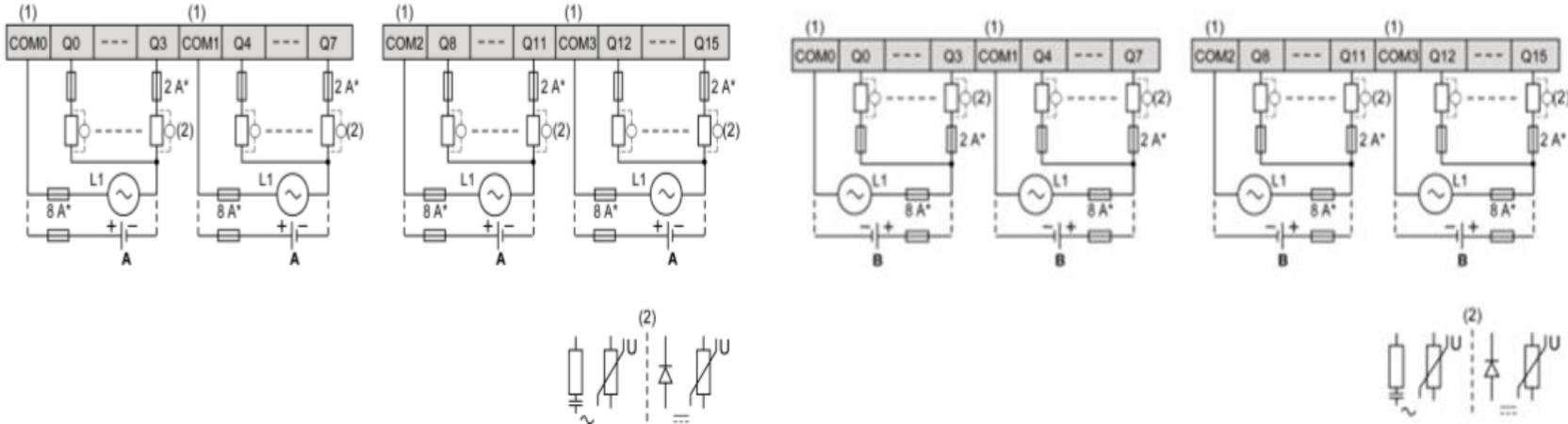


Sensor RTD

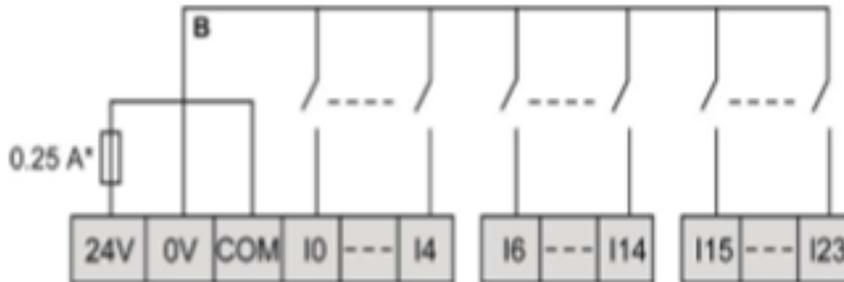
Anexo 6. Características de las entradas normales del M221.

Característica		Valor		
		TM221C16• TM221CE16•	TM221C24• TM221CE24•	TM221C40• TM221CE40•
Número de entradas normales		5 entradas (I2, I3, I4, I5, I8)	10 entradas (de I2 a I5, de I8 a I13)	24 entradas (de I2 a I5, de I8 a I23)
Número de grupos de canales		1 línea común para I0 a I8	1 línea común para I0 a I13	1 línea común para I0 a I23
Tipo de entrada		Tipo 1 (IEC/EN 61131-2)		
Tipo de lógica		Común positivo/Común negativo		
Rango de tensión de entrada		24 V CC		
Tensión de entrada nominal		De 19,2 a 28,8 V CC		
Corriente de entrada nominal		7 mA		
Impedancia de entrada		3,4 kΩ		
Valores límite de entrada	Tensión en estado 1	> 15 V CC (de 15 a 28,8 V CC)		
	Tensión en estado 0	< 5 V CC (de 0 a 5 V CC)		
	Corriente en estado 1	> 2,5 mA		
	Corriente en estado 0	< 1,0 mA		
Reajuste		Consulte Curvas de desclasificación (<i>véase página 181</i>)		
Tiempo de encendido	I2, I3, I4, I5	35 μs + valor del filtro ¹		
	De I8 a I15	100 μs + valor del filtro ¹		
Tiempo de apagado	I2, I3, I4, I5	35 μs + valor del filtro ¹		
	De I8 a I15	100 μs + valor del filtro ¹		
Aislamiento	Entre entrada y lógica interna	500 V CA		
Tipo de conexión		Bloques de terminales de tornillo extraíbles		
Durabilidad de conexiones y desconexiones del conector		Más de 100 veces		
Cable	Tipo	No blindado		
	Longitud	30 m (98 pies) máximo		
¹ Para obtener más información, consulte Principio de filtro integrador (<i>véase página 57</i>)				

Anexo 7. Diagrama de cableado de comun negativo(logica positiva)/comun positivo(logica negativa) de las salidas a la carga y de la entradas con los sensores del TM221C40R



* Fusible tipo T



* Fusible tipo T