



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

**Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica**

**Diseño de un sistema de automatización para la mejora en el proceso de
destilación de etanol en la empresa azucarera andahuasi, 2021**

**Tesis
Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico**

**Autor
Edinson Villanueva Santisteban**

**Asesor
Ing. Ernesto Díaz Ronceros**

Huacho – Perú

2023

DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA MEJORA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN DE ETANOL EN LA EMPRESA AZUCARERA ANDAHUASI, 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	fr.slideshare.net Fuente de Internet	1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	controlautomaticoeducacion.com Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	electronica.frba.utn.edu.ar Fuente de Internet	1%

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA MEJORA
EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN DE ETANOL EN LA EMPRESA
AZUCARERA ANDAHUASI, 2021**

BACH. EDINSON VILLANUEVA SANTISTEBAN

TESIS DE PREGRADO

ASESOR:

Mtro. ERNESTO DÍAZ RONCEROS

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SISTEMAS E INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

2023

DEDICATORIA

La presente tesis es dedicada a Dios en primer lugar por todas sus bendiciones, a mis padres, hermano, hermana e hija por todo su apoyo respaldo y sobre todo confiar en mi durante todo el tiempo de mi preparación y desarrollo profesional.

Edinson Villanueva Santisteban

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de lograr un objetivo más, esto también es mérito de aquellas personas que creyeron en mí y me apoyaron económica y moralmente, principalmente a mis padres, hermano, hermana e hija por brindarme su confianza y su lealtad.

Agradezco también a nuestra alma mater, la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, por ser nuestra casa formadora, en especial a la Escuela de Ingeniería Electrónica.

De igual manera agradecer al Ing. Ernesto Díaz quien me ha apoyado como asesor de Tesis, por su compromiso y su dedicación se logró culminar este trabajo.

También dedicar unas líneas de agradecimiento a las extraordinarias personas que Dios me permitió conocer, mi cuñado y cuñada por brindarme su apoyo incondicional por creer siempre en mí.

Finalmente hacer mención de la Azucarera Andahuasi y a sus dignos representantes, quienes, al conocer las metas de mi trabajo, me brindaron su apoyo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación de la investigación.....	18
1.5. Delimitación del estudio.....	18
1.6. Viabilidad.....	19
CAPÍTULO II:.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20

2.1.1.	Antecedentes internacionales	21
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	24
2.2.	Bases Teóricas:.....	28
2.2.1.	Automatización	28
2.2.2.	Clases de automatización	29
2.2.3.	Tipos de automatización.....	30
2.2.4.	Ventajas de la automatización.....	31
2.2.5	Beneficios de la automatización.....	32
2.2.6	Controlador lógico programable	33
2.2.7	Estructura de un PLC	33
2.2.8	El Hardware.....	35
2.2.9	Lenguaje de programación.....	36
2.2.10	Control PID.....	38
2.2.11	Modelamiento matemático del sistema de control	40
2.2.12	Clasificación de los procesos según la ley física aplicada:	40
2.2.13	Transformada de Laplace	41
2.2.14	Sistema de medición de control.....	41
2.2.15	Diagrama de instrumentación.....	42
2.2.16	Tipos de sistemas de control.....	45
2.2.17	Teorías y principio de medición e instrumentos de control.....	46
2.2.18	Presión diferencial	48
2.2.19	Estudios físicos.....	49

2.2.20	Destilación continua	54
2.2.21	Destilación continua con reflujo y método McCABE-THIELE	55
2.2.22	Programas para PLC.....	56
2.2.23	Hardware HMI.....	63
2.2.24	SIL (Safety Integrity Level)	64
2.3.	Bases filosóficas.....	65
2.4.	Definición de términos básicos:	66
2.4	Hipótesis de investigación.....	67
2.4.1	Hipótesis general	67
2.4.2	Hipótesis específicas	68
2.5	Operacionalización de las variables	68
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		70
3.1	Diseño metodológico.....	70
	Tipo de investigación	70
	Nivel de Investigación.....	71
	Enfoque	71
3.2	Población y muestra	71
3.2.1.	Población	71
3.2.2	Muestra.....	71
3.3	Técnica para la recolección de datos.....	71
	Observación.....	71
	Instrumentos para la recolección de datos.....	72

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	72
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	73
4.1. Análisis de resultados.....	74
4.2. Contratación de hipótesis.....	83
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	86
5.1. Discusión de resultados.....	87
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
6.1. Conclusiones	89
6.2. Recomendaciones.....	90
REFERENCIAS.....	91
7.1. Fuentes bibliográficas	92
7.2. Referencias electrónicas.....	92
ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	29
FIGURA 2. PLC SIMATIC S7-1200	33
FIGURA 3. ESTRUCTURA Y PERIFÉRICOS DEL PLC	36
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN SIMBÓLICA DE TUBERÍAS DE INSTRUMENTACIÓN	42
FIGURA 5. PARTES UN DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN	43
FIGURA 6. REPRESENTACIÓN SIMBÓLICA DE INSTRUMENTACIÓN	44
FIGURA 7. UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	44
FIGURA 8. POSICIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	44
FIGURA 9. SISTEMAS DE CONTROL LAZO ABIERTO	45
FIGURA 10. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE LAZO ABIERTO	45
FIGURA 11. SISTEMAS DE CONTROL LAZO CERRADO	46
FIGURA 12. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE LAZO CERRADO	46
FIGURA 13. MEDIDOR DE FLUJO POR PRESIÓN DIFERENCIAL	49
FIGURA 14. EXPERIMENTO Y SIMULACIÓN DE LA LEY DE FARADAY.	50
FIGURA 15. REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO.	51
FIGURA 16. VARIADOR DE VELOCIDAD POWERFLEX.	54
FIGURA 17. SOFTWARE RSLOGIX5000	58
FIGURA 18. HMI PANEL VIEW PLUS 1000 - 10” – ALLEN BRADLEY	59
FIGURA 19. EJEMPLO DE PANTALLA HMI.	60
FIGURA 20. SOFTWARE FACTORY TALK VIEW MACHINE EDITION	63
FIGURA 21. INTERFAZ RSLOGIX EMULATE	64
FIGURA 22. NIVELES DE SEGURIDAD INTEGRADA	65
FIGURA 23. SECUENCIA DE ENCLAVAMIENTO PARA LA BOMBA DE VINO	74
FIGURA 24. CONFIGURACIÓN PARA EL VARIADOR DE FRECUENCIA	75
FIGURA 25. ESCALAMIENTO DE LA TEMPERATURA	76
FIGURA 26. CONFIGURACIÓN CONTROLADOR PID.....	76
FIGURA 27. CONFIGURACIÓN PARÁMETROS DE TEMPERATURA.....	77
FIGURA 28. CONFIGURACIÓN TEMPERATURA DE REFLUJO.....	78

FIGURA 29. ESCALAMIENTO SEÑAL DE REFLUJO	78
FIGURA 30. CONDICIONES DE LA ALARMA DE SENSORES	79
FIGURA 31. CONTROL DE NIVEL PID	80
FIGURA 32. ESCALAMIENTO NIVEL DE PURGA DELCALDERIN.....	80
FIGURA 33. SCADA DESTILACIÓN DE ALCOHOL	81
FIGURA 34. SCADA PROCESO DE RECTIFICACIÓN	82

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRESUPUESTO ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	83
TABLA 2. CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE LAS VARIABLES SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y PROCESO DE DESTILACIÓN DE ALCOHOL	85

RESUMEN

Los sistemas de automatización permiten llevar a cabo procesos con mayor eficiencia aprovechando de una mejor manera la materia prima, por ello en la presente investigación se propone el diseño de un sistema de automatización que permite la mejora en el proceso de etanol. El tipo de investigación será tecnológico, con nivel aplicativo y enfoque cuantitativo, los instrumentos para la recolección de información fueron la observación y la encuesta. Dentro de las técnicas para el procesamiento de datos está el software IBM SPSS 25. Los resultados obtenidos indican que el coeficiente de correlación de Pearson resulto de 0,890. Así mismo se desarrolló la lógica de programación en lenguaje Ladder y su respectiva interfaz gráfica para monitoreo de señales. Por lo tanto, se concluye que que si existe una relación significativamente positiva con correlación alta entre las variables sistemas de automatización y proceso de destilación de alcohol.

Palabras clave: sistema de automatización, destilación de etano, controlador lógico programable, empresa azucarera.

ABSTRACT

The automation systems allow to carry out processes with greater efficiency taking advantage of the raw material in a better way, therefore in this research the design of an automation system is proposed that allows the improvement in the ethanol process. The type of research will be technological, with application level and quantitative approach, the instruments for collecting information were observation and survey. Data processing techniques include IBM SPSS 25 software. The results show that the Pearson correlation coefficient was 0.890. Likewise, the logic of programming in Ladder language and its respective graphical interface for monitoring signals was developed. Therefore, it is concluded that if there is a significantly positive relationship with high correlation between the automation systems and alcohol distillation process variables.

Keywords: automation system, ethane distillation, programmable logic controller, sugar company.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas automatizados surgen de la necesidad de mejorar los procesos industriales, generando una mayor eficiencia y brindando seguridad al personal que operan las máquinas involucradas. Esto es posible gracias a los autómatas programables o también llamados PLC (controlador lógico programable) que interactúa con las señales de los sensores que provienen del proceso, así mismo en base a estos datos toma acciones que han sido previamente programadas, para activar motor, actuadores, etc. Para una mejor ejecución de este sistema de lazo cerrado, se implementan los controles PID para obtener señales de salida más estables y coherentes con el set point referido.

El proceso de destilación es uno de los más antiguos y por consiguiente empleado frecuentemente en la industria. En la empresa Azucarera Andahuasi S.A.A. este proceso les permite obtener alcohol, utilizando la caña de azúcar como materia prima. Uno de los problemas más habituales en la industria es la búsqueda constante de nuevas tecnologías y herramientas que permitan hacer sus procesos más eficientes, esto no es ajeno a la empresa Azucarera Andahuasi que a pesar de la óptima calidad enriquecida de la materia prima (caña de azúcar) se sigue obteniendo el mismo resultado en el proceso del destilado. Así mismo se presentan errores en los cálculos de linealidad de la válvula de control del calderín. Por ello resulta importante plantearse la interrogante con respecto a los sistemas de automatización y su contribución que podrían aportar en la destilación de alcohol obtenida en base a la caña de azúcar, en la presente investigación se desarrolla un diseño de control y automatización, basado en la programación de un PLC con interfaz HMI, con el objetivo de brindar una solución al aprovechamiento de la materia prima.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la Empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A tenemos una planta de proceso de Destilación de alcohol, teniendo como materia prima la caña de azúcar y por su alto rendimiento y distribución equitativo en el área de la Caldera nos brinda vapor Sobrecalentado con una temperatura de 180 a 200°C y la presión de 20 (Lbf/in²) y el área de Elaboración nos brinda Melaza como producto de materia prima para el área de Destilería, Convertimos la Melaza en Vino ya que existen cubas de Fermentación.

Siendo el mayor factor del problema la destilación de las columnas, debido a que falta de actualización de Automatización y control no obtenemos resultados beneficiosos ya que hay enriquecimiento de materia prima, lo destilado sigue siendo el mismo.

Este problema viene ocurriendo años tras años y la mejor manera de obtener un óptimo proceso es Automatizando y controlando varias series de lazos El ingreso de Vapor, El reflujo, La destilación, control de temperatura, nivel del calderin respecto al tanque de almacenamiento de lo destilado.

No obstante, el ingreso de vapor al calderin es de 1 (Lbf/in²) al hacer el cálculo de linealidad de la válvula de control el porcentaje de error de su funcionalidad es alto. La cual con el Sistema que se implementará también se incluirá la linealización correcta ya que actualmente está trabajando con un controlador obsoleto.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo diseñar un sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo diseñar la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?
- ¿Cómo diseñar la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?
- ¿Cómo diseñar la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.
- Diseñar la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.
- Diseñar la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.

1.4. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica en la necesidad de contar con un diseño de un sistema automatizado de destilación de alcohol para así poder aprovechar en mejor medida la materia prima que se procesa. Aumentar los beneficios, reducir costo, optimizar el sistema

1.5. Delimitación del estudio

- La delimitación espacial se encuentra en la ciudad de Huara.
- La delimitación temporal está comprendida entre enero y octubre del 2021.

1.6. Viabilidad

El proyecto es viable ya que se cuenta con los recursos económicos necesarios para realizar la investigación. Así mismo se tiene los conocimientos requeridos sobre automatización obtenidos mediante los estudios de pre grado y en base a mi experiencia profesional. Finalmente, para acceder a la información y los datos del proceso tengo el apoyo de los ingenieros:

- Ing. Dante Barzola Camara, Cargo: Jefe de Destilería
- Ing. Segundo Aladino Coronel More: Supervisor de Instrumentación y Control
- Ing. Ronald Alex Cieza Muñoz, Cargo: Jefe de Taller de Instrumentación y Control

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La Automatización en el Perú está en pleno desarrollo y cada día buscamos mejoras para la óptima producción del sistema, en la actualidad la Ingeniería está avanzando de manera progresiva, la tecnología tiene nuevas opciones para controlar diferentes tipos de procesos como son los DCS, PLC, sensores, actuadores, transmisores, etc.

Las Grandes empresas como Grupo Gloria S.A, Grupo Wong, Lindey, Cemento Pacasmayo, Mineras, Petroleras, entre otras buscan expandirse tanto a nivel nacional e internacional contratando a profesionales con alto grado académico para cada área para así lograr mejoras y reducir el costo y obtener beneficios, hoy en día hay instituciones que tienen convenios con empresas para los primeros puestos dando la oportunidad a cada peruano e irse desarrollando profesionalmente.

A continuación, se presentan documentos y artículos en el estado de arte relacionados al sistema de automatización y control de destilación de alcohol.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Gonzales et al (2018) elaboró la investigación: “identificación, modelado y control del proceso planta piloto de destilación para producción de alcohol carburante, en ella menciona el avance de la elaboración de alcohol carburante exige gigantes retos que inician por el método de la automatización; las solicitudes de enormes consumos de energía hacen necesario el estudio de tácticas de controles resaltadas que, sin importar la existencia de datos sobre indagaciones para columnas de destilación, no están dentro en las plantas de producción de alcohol carburante de la región”. Para hallar tácticas de control es requisito tener buenos modelos

que reflejen todos los procedimientos dinámicos, para eso en este emprendimiento se procede a estudiar y hacer los experimentos para llevar a cabo la identificación de la planta desde datos experimentales.

- Navas (2014) en su proyecto Control de columnas de destilación, el control de las columnas de destilación es un tema que fue analizada a lo largo de varios años gracias a que la destilación es un sistema de operaciones más empleada en procesos industriales entonces este emprendimiento se va a usar parte de todo ese material de estudio para de esta forma poder realizar una mejor estrategia de control fundamentadas a lazo de control particulares.
- Villacrés (2011) en su tesis “Automatización y puesta en marcha de una columna de destilación continua de platos perforado tipo experimental para el sistema etanol - agua mediante PID y plataforma labview denominada (UDCC). Realiza un diseño, creación e implementación de un sistema de control con asistencia mediante una PC, de esta forma desarrolló el teleproceso como aplicación del chequeo de temperatura para una columna de destilación continúa fundamentada en programa Excel y el software de instrumentación industrial LabVIEW”. Así mismo el diseño de hardware desarrollado con PCB electrónicas y un dispositivo de adquisición de datos DAQ NI USB 6008 – 9211 que se encargó de la destilación en el sistema Etanol – Agua, para la columna

en fase de prueba de platos perforados. Por lo tanto, ejecutó un diseño de manera modular en el software y hardware, lo que ofrece una más grande elasticidad a la integridad del sistema. En el hardware se utilizan componentes de simple compra para hacer más simple la sustitución, recomposición o cambio algunos de sus disipativos. Se llevó a cabo una plataforma de interfaz gráfica con control y supervisión virtual más amigable, completa y maleable frente a la que sigue a los controladores auténticos. La versión de LabVIEW fue del 2010 para crear y utilizar nuevas herramientas, de esta forma mediante un emulador de destilación para el sistema Etanol - Agua construida en Excel 2007. Finalmente se concluye que se incrementa el potencial de uso de la columna de destilación descartando las limitaciones del conjunto original y agregando las virtudes que un sistema SCADA.

- Iza (2010) en su tesis “implementación de un control volumétrico automatizado para estabilizar la producción en la fábrica de vinos el conquistador”. “La presente tesis de navegación hace aparición de la necesidad de sugerir agrado al sistema de producción de la fábrica de vinos El Conquistador, en especial en el área de listo del vino, ya que en esta área de listo del vino tienen contrariedad al no poder proveer vino en forma continuo y acertado, el mismo que se ejecuta de manera manual el encendido de la bomba, la verificación de los niveles más prominente, mínimo por inspección visual y el apagado de la bomba en forma

manual. La utilización de un control volumétrico automatizado en el tanque de listo del vino va a ser útil para el control del suministro de vino desde los tanques de fermentado hacia el tanque de listo del vino, el mismo que se va a hacer prendiendo el control automático; que va a tener las funciones de controlar los niveles de volumen más prominente y mínimo en el tanque de listo del vino, al llegar estos niveles el sensor desactivará el desarrollo de la bomba o lo va a volver a prender respectivamente”. Este control va a dejar que el sistema de producción sea continuo ya que el control volumétrico automatizado está instalado con un control de lazo cerrado, ósea que cuando llegue al nivel más prominente de vino fermentado en el tanque este control desactivará la bomba; al llegar al nivel de vino fermentado mínimo el control volumétrico lo encenderá la bomba para proveer vino fermentado al tanque de listo del vino, para que este tanque no se quede sin producto.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- Rodríguez (2017) en su tesis “Desarrollo de un sistema de control predictivo de la temperatura en un reactor de transesterificación. La búsqueda de fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles, ha animado el interés por la exploración en nuevos procedimientos para la obtención de energía. Como es la situación de la producción de biodiesel desde aceites usados por medio de la operación de transesterificación. Bajo este método, la presente exploración se enfoca en el avance de

tácticas de control avanzado de la temperatura del reactor de transesterificación, con la intención de hacer mejor la eficiencia de transformación de los aceites en ésteres metílicos”.

Complementariamente, se busca “que la estrategia de control iniciativa permita realizar las limitaciones impuestas en la variable controlada (temperatura del reactor) y logre trabajar cerca del límite de operación (temperatura de efervescencia del metanol). Para la obtención del modelo de la planta que permita investigar la dinámica del sistema y demostrar su dificultad, se utilizó la técnica de modelamiento matemático, desde las ecuaciones de balance de masa y energía. Para el control de la planta objeto de estudio, se ofrece la utilización de un controlador de matriz dinámica cuadrática (QDMC) con limitaciones suaves en la variable dominada y restricciones duras en la variable de control y las tasas de cambio de la misma. Este esquema permite evadir la no falibilidad del algoritmo de programación cuadrática (QP) utilizado para resolver el inconveniente de actualización del QDMC”. Como parte final de la presente exploración y con la intención de mostrar la mejora mediante la utilización de tácticas de control adelantado para la presente planta, se llevó a cabo la comparativa del controlador diseñado con un controlador PID común.

- Lucero et al. (2010) en su Proyecto de Desarrollo de Prototipo Determinador de Grado Alcohólico Continuo, “la estandarización de la

producción del pisco en relación a su graduación alcohólica facilitará su consolidación en el mercado en todo el mundo, siendo primordial para esto el avance de un prototipo. Determinador continuo de nivel alcohólico automatizado de bajo valor y alcanzable a las PYMES pisqueras”. Tiene importancia popular ya que los primordiales beneficiarios van a ser los pequeños y medianos productores de pisco que van a poder ofertar un producto estandarizado en relación a su graduación alcohólica. “El alto valor que representa el Refractómetro CM-780 ATAGO (determinador de nivel alcohólico en línea) en el módulo de Automatización del Control de Variables en Desarrollo de Destilación para la obtención del Pisco creado por la Escuela de Ingeniería Industrial de la USMP en el 2003, no facilita su ingreso a las pequeñas y medianas bodegas pisqueras a esta originalidad tecnológica. El prototipo de determinador continuo de nivel alcohólico de construcción nacional (desarrollado y constituido en la FIA) y que es alternativo al de marca ATAGO; va a ser antecedente de los futuros desarrollos de determinadores de grado alcohólico”

- Llerena y Casas (2009) en su tesis “Modelado y Simulación del Sistema de Destilación de la Planta Piloto de Alcohol de la Facultad de Ingeniería Química. La primordial aportación de esta tesis es crear un modelo de un sistema de destilación binaria para alcohol, que simule el accionar de las variables termodinámicas más indispensables en una columna de

destilación”. “El modelo creado para el sistema de destilación se formuló para casos generales y puede ajustarse a alguna columna de destilación que trabaje con platos de rectificación y agotamiento. El presente trabajo de exploración (tesis), puede ser utilizado por docentes y estudiantes de ciencias e ingeniería para un mejor sistema de aprendizaje de la asignatura, así como Procesos y Operaciones Simples de la Ingeniería”.

- Ollero (2012) Esta obra constituye una utilidad servible para la formación de técnicos expertos en el campo de la instrumentación y el control de plantas químicas y como obra de consulta para expertos que ya trabajen como ingenieros de desarrollo en plantas químicas. Está concebida con un enfoque efectivo que circunscribe los desarrollos teóricos a lo rigurosamente primordial para abarcar por qué, cómo y cuándo debe aplicarse una técnica de control específica a un caso preciso, para comprender además cuáles son las restricciones de esa técnica y qué calidad de control cabe aguardar de ella, de esta forma como para elegir los instrumentos de control más correctos para su utilización física. El libro tiene tres partes precisamente diferenciadas: la primera se dedica a la prueba de accionar cambiante de procesos químicos, la segunda prueba al diseño de sistemas de control y la tercera a la instrumentación requerida para manejar y monitorizar una planta química.

2.2. Bases Teóricas:

2.2.1. Automatización

Según Pérez-López (2015) la automatización es agregar inteligencia a un proceso y que se fundamente en controlar la evolución y actividad de los procesos industriales evitando la intervención permanente de un operario. La automatización se da en combinaciones de sensores, actuadores la cual manda una respuesta según el estado a los controladores la cual son gobernador por software especializados Durante los años recientes se ha comenzado a implementar sistemas denominados SCADA (supervisory control and data adquisición), los cuales permiten un monitoreo remoto de todo el proceso así mismo se pueden visualizar de forma graficas los elementos de control e indicadores dentro de la planta.

Los sistemas que cuenta con un proceso automatizado constan de dos partes fundamentales.:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

La Parte Operativa que agrupa los dispositivos y elementos que se relacionan directamente con la máquina y que permiten que esta realice y se movlice acorde al proceso de automatización. Algunos de los dispositivos y elementos puede ser: compresores, cilindros neumáticos, motores, sensores ópticos, etc. (Brunete, San Segundo y Herrero, 2021).

La Parte de Mando actualmente está confirmado por controladores lógico programables o también llamados PLCs, que reemplazaron a los relés y contactores que conformaban lo que era la lógica cableada. Los PLC permiten la expansión del sistema de control, así como la comunicación con casi la totalidad de los dispositivos electrónicos involucrados en el proceso (Brunete, San Segundo y Herrero, 2021).

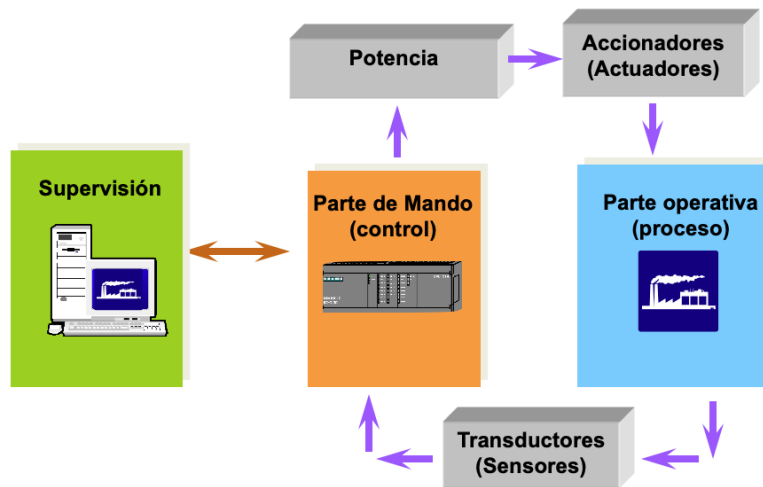


Figura 1. Arquitectura de un Sistema de Automatización

2.2.2. Clases de automatización

2.2.1.1 La automatización fija

Es el tipo de automatización que se emplea cuando se requiere una producción con alto volumen, por ellos el sistema que se implemente no se modificará a corto plazo. La automatización fija conlleva un costo alto porque necesito equipos especializados para el producto que se requiera obtener, con una tasa de producción y rendimiento alto. Una desventaja que presenta es que depende del

mercado y su vigencia del producto como una moda o constante en el tiempo. (Almazán, 2018).

2.2.1.2 La automatización programable

Se aplica cuando mediante un mismo proceso se pueden obtener diversos productos, teniendo en cuenta que para cada uno de ellos su producción debe ser baja, compensando el beneficio con la gran cantidad de derivados que se pueden obtener, adaptando para ello la configuración del controlador lógico programable. (Almazán, 2018).

2.2.1.3 Automatización flexible

Es la automatización más recomendada y actualmente empleada ya que se adecua para un rango de producción medio. Se caracterizan porque presentan flexibilidad y están constituidos por varias estaciones que conforma una celda de manufactura, controlados por un computador principal (Almazán, 2018).

2.2.3. Tipos de automatización

Según Almazán (2018) se tienen varias maneras de automatizar los procesos industriales modernos. Lógicamente esto de acuerdo a los requerimientos que se deban cumplir y los productos o derivados que se quieran obtener.

2.1.1.1 Control automático de procesos

El Control Automático de Procesos, está definida por procesos totalmente definidos de distintos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un claro ejemplo es la destilación de alcohol como refinación de alcohol (Almazán, 2018).

2.1.1.2 El proceso electrónico

El Desarrollo Electrónico y control de data muchas veces es ligado con los servidores, sistemas de información, laboratorio y/o centro de cómputo, etc. No obstante, hoy en día además se considera la obtención, examen y registros de datos por medio de computadores e interfaces (Almazán, 2018).

2.1.1.3 El control numérico computarizado (CNC)

Es el lenguaje que permite programar a las máquinas que trabajar con coordenadas como son las fresadoras y los tornos, otorgándoles mediante la programación un mayor nivel con respecto a su flexibilidad. (Almazán, 2018).

2.2.4. Ventajas de la automatización

Se reducen los costos relacionados a la mano de obra dependiendo del nivel de automatización implementado. Ya que los productos son más confrontados,

incrementan los provecho, es decir si reducimos gastos se puede crear más económico y entonces incrementar las ventas. Incrementa la aptitud de producción de la instalación usando los mismos operarios y maquinaria. Incrementa la calidad el producto final dado que las máquinas automatizadas presentan una mejor precisión. Optimización del proceso de producción dado que tienen la posibilidad de ingresar sistemas automáticos de verificación. Facilita desarrollar la producción. A media y a la larga, y por medio de la constancia y a la uniformidad de la producción se garantizan plazos de distribución más fiables. Se disminuye las incidencias laborales ya que las máquinas automáticas hacen toda clase de trabajos dañinos para el hombre carrera (Brunete, San Segundo y Herrero, 2021).

2.2.5 Beneficios de la automatización

Según Akubica (2018) la automatización presenta los siguientes beneficios:

- Eliminar ejecución de secuencia de comandos manuales que están sujetas a errores la cual aumentará la productividad, la rentabilidad y la calidad del proceso.
- Reducir el tiempo total de producción y Reduce el plan de mantenimiento al operador
- Realiza operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Ayuda a tener un mejor análisis y dinamismo en la instalación de aplicaciones mediante ejecución automatizada de trabajos.

2.2.6 Controlador lógico programable

Considerada también una computadora industrial encargada de procesar la información de una máquina, equipos industriales o de un grupo de máquinas estos datos pueden venir de diferentes fuentes o entradas, En figura 1 puede visualizar un PLC. La cual vendría ser el cerebro de un proceso continuo y discontinuo la cual hace toma de decisiones de acuerdo a lo programado para luego poder controlar como instrumentos estandarizados eléctricamente y neumáticamente (Brunete, San Segundo y Herrero, 2021).



Figura 2. PLC Simatic S7-1200

2.2.7 Estructura de un PLC

2.2.7.1 Unidad Central de Proceso

Parra (2012) menciona que tiene como función interpretar las entradas por medio las normas y/o algoritmos que tiene programada el controlador está estructurada basado en un microprocesador, encargado

de ejecutar el software del programador y de realizar las transacciones de datos. Además, se encarga de manejar la comunicación con los periféricos y actuadores. Busca los datos en su memoria, procede a decodificarlas y ejecutarlas. Generalmente el desempeño es tipo interpretado y la decodificación puede ser programada o cableada. La primera alternativa, más económica, es recurrente en PLC's de menor dificultad en tanto que la segunda, con diseños propios del desarrollador, se usan tecnologías tipo "Custom" para PLCs de más grande dificultad y obteniendo mejores tiempos de respuesta.

2.2.7.2 Memoria del Controlador.

Se encarga de almacenar los datos de control como son las instrucciones ingresadas por el programa del operador y la configuración implementada conjuntamente con el PLC. También se encarga de almacenar los datos del proceso, como son las variables internas o marcas, constantes, datos de sensores, señales de entrada y/o salida.

2.2.7.3 Interfaces de Entrada/Salida

Es la más relevante en el desarrollo debido a que con estos periféricos de entradas y salidas tenemos la posibilidad de recibir múltiples advertencias que nos brindan los equipos de campo generalmente para ser analizada por medio de lógicas de programación nivel programa y ser emitida como una respuesta a un actuador para la respectiva acción.

según lo censado. Establecen la comunicación con la planta, aceptan entrar la información que llega de los sensores, interruptores, etc. (entradas) y enviar información a motores, bombas, electroválvulas y accionamientos generalmente. Para esto, las interfaces tienen que filtrar, adaptar y codificar como corresponde las advertencias (Parra, 2012).

2.2.8 El Hardware

Parra (2012) define el hardware como un bus de control, proporcional al CPU y el control de los bloques de memorias. Estos buses de comunicaciones se conectan a la estructura externa del PLC, las interfaces de entradas y salidas que no son más que módulos que unen proceso con la CPU. Estos módulos pueden ser de entradas y salidas, los primeros que tienen la función de activarse mediante una señal externa, amplificarla, filtrarla, codificarla, para que el CPU pueda usarse en proceso. En la figura 2 podemos visualizar la estructura y los periféricos del PLC.

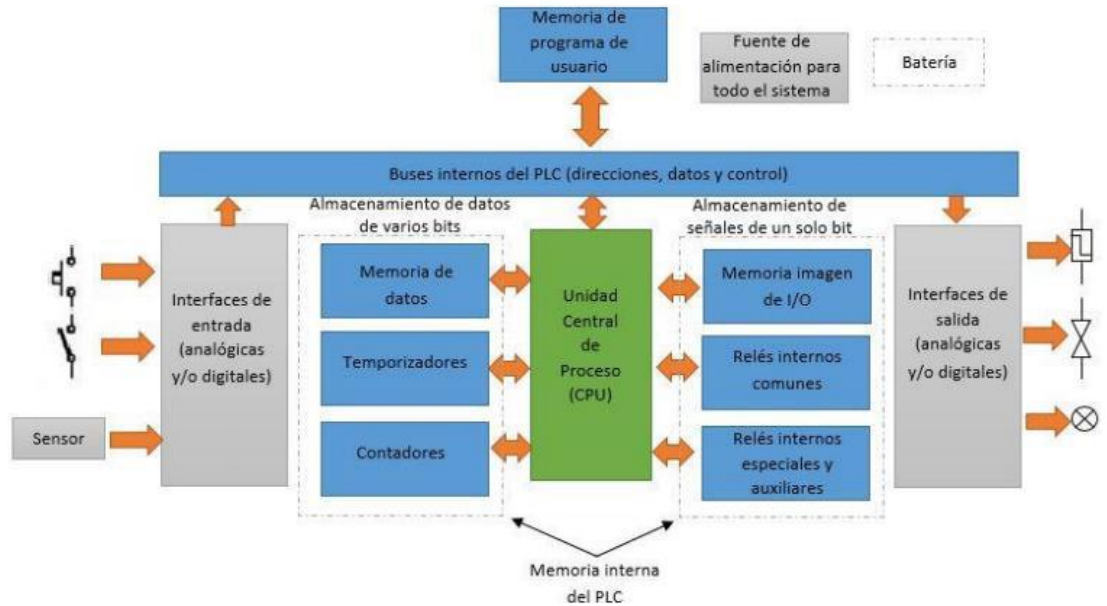


Figura 3. Estructura y periféricos del PLC

2.2.9 Lenguaje de programación

Según Mateos (2006), la base de la programación son los lenguajes textuales y gráficos como un estándar. Así mismo la IEC mediante su estándar IEC 1131-3 (IEC 65) se definió la programación del PLC, que cuenta con cinco diversos lenguajes como son: texto estructurado, gráfico secuencial de funciones (grafcet), diagrama de flujo, lista de instrucciones (LDI) y el diagrama de contactos (Ladder), siendo este último el más usado.

2.2.9.1 Gráfico secuencial de funcionalidades (grafcet)

Para Mateos (2006) la programación en grafcet permite establecer una lógica secuencial y paralela empleando los dispositivos electrónicos como sensores para dar los pasos y/o transiciones, logrando así activar

los actuadores correspondientes, una vez finalizado el paso el actuador anterior procede a ser desactivado.

2.2.9.2 Lista de instrucciones (LDI)

Programación similar a lenguaje assembler, se permite solo una operación por línea, trabaja con los registros y es recomendable para aplicaciones sencillas o para optimizar alguna parte del proceso (Mateos, 2006).

2.2.9.3 Texto estructurado

Para Mateos (2006) se emplean para manejar sentencias complicadas, que trabajen con valores tanto digitales como analógicos. Presentan un nivel estructurado mediante bloques,

2.2.9.4 Diagrama de flujo (function block diagram o FBD)

Es un lenguaje gráfico que permite programar elementos que aparecen como bloques para ser cableados entre sí de forma análoga al esquema de un circuito. FBD es adecuado para aplicaciones que involucren el flujo de información o datos entre componentes de control (Mateos, 2006).

2.2.9.5 Diagrama de contactos o también llamado lenguaje Ladder.

También llamada “escalera”, es el más empleado ya que se asemeja a los diagramas industriales basado en contactores, así mismo emplea un conjunto estándar de símbolos para programar (Mateos, 2006).

2.2.10 Control PID

Cova (2005) define el control PID como un sistema de control por retroalimentación (FEEDBACK), este control calcula la desviación o error entre el valor medido (PV) y el valor deseado (SP), Este algoritmo de control PID tiene tres parámetros distintos que son: KP, KI, KD.

2.2.10.1 Características del controlador PID

La suma de estas tres acciones es utilizada para cambiar al desarrollo vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, entre otras cosas. Ajustando estos tres cambiantes en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control pensado para lo que requiera el desarrollo a hacer. La respuesta del controlador puede ser descrita en relación a respuesta de la controlante un error, el nivel el cual el controlador llega al "equipo point", y el nivel de oscilación del sistema. Nótese que la utilización del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la seguridad del mismo. Algunas apps tienen la posibilidad de solo necesitar de uno o dos métodos de los que provee este sistema

de control. Un controlador PID puede ser llamado además PI, PD, P o I en la sepa de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son especialmente recurrentes, dado que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la sepa del desarrollo integral puede evadir que se alcance al valor esperado gracias a la acción de control.

2.2.10.2 Descripción matemática del Control PID

- **Control proporcional:**

Para Cova (2005) la acción de control es Proporcional al error.

Es decir, en el tiempo:

$$c_{(t)} = K_{(P)}e_{(t)}$$

K_p es la constante de proporcionalidad del controlador. Sin duda, sólo K_p caracteriza completamente al controlador P. Mientras mayor sea K_p , mayor será la sensibilidad del controlador.

- **Control proporcional/integral “PI”:**

Según Cova (2005) a acción de control está dada en el tiempo por:

$$K_P e_{(t)} + K_{(I)} \int_0^t e_{(t)} dt$$

- **Controlador proporcional/integral/derivativo:**

La acción de control está dada por:

$$K_P e_{(t)} + K_{(i)} \int_0^t e_{(t)} dt + K_P dt e_{(t)}$$

2.2.11 Modelamiento matemático del sistema de control

Según Vázquez (2005) modelar un proceso físico nos permite comprender como se comporta el sistema de control, en relación a las variables que interactúan, prediciendo de esta manera su respuesta que obtendrá y en base a error tomar las correcciones en el controlador PID. En la mayoría de modelos matemáticos se usan las ecuaciones diferenciales de donde empleando la transformada de Laplace se obtiene la FUNCION DE TRANSFERENCIA que se desarrolla en sistemas continuos, también aplicable a sistemas eléctricos, fluidos, mecánicos, termodinámicos, fluidos, etc.

2.2.12 Clasificación de los procesos según la ley física aplicada:

2.2.12.1 Sistemas mecánicos:

Leyes de newton, resortes, amortiguadores, masas.

2.2.12.2 Sistemas de nivel:

Ley de balance de masas, válvulas, tanques.

2.2.12.3 Sistemas eléctricos:

Ley de ohm, resistencias, capacitancias, inductancias.

2.2.13 Transformada de Laplace

Nos facilita saber, investigar cómo se comportará el desarrollo. En los sistemas de regulación resulta principalmente comprender cuál va ser su respuesta frente una entrada cierta. Frecuentemente es complicado conseguir una relación que permita comprender la funcionalidad del tiempo como va a responder el sistema frente un estímulo preciso sustituir funcionalidades de una variable Real (tiempo, distancia) Por otras funcionalidades que dependen de una variable compleja (Vásquez, 2005).

2.2.14 Sistema de medición de control

Para Vásquez (2005) el sistema de medición de control es el elemento primario también llamado comúnmente sensor la que está en contacto con el proceso. para ello existen diferentes tipos de sensores para la cual antes de su respectiva medición en proceso tiene que hacer la contrastación de los equipos para la linealidad entre la variable física y la salida para ello se necesita instrumentos patrones estandarizados.

- **Directas.** - Comparación con patrón.
- **Indirecta.** - Utilización de principio físico – químico que relaciona la magnitud de la variable con la otra más fácilmente medible.

2.2.14.1 Proceso de medida

- **Sensor**

Es el elemento primario conocido como captador o detector que está en contacto con el proceso.

- **Transductor**

Adecuación de la señal de la salida del sensor para que luego ser fácilmente medible.

- **Transmisor**

Convierte la señal del transductor de una señal estándar que se transmita al sistema de control.

- **Conversión**

Filtrado y potencia

Transmisión de señal

2.2.15 Diagrama de instrumentación

Es un diagrama que muestra la interconexión de equipos de proceso e instrumentos utilizados para controlar el proceso (Páez, 2009).

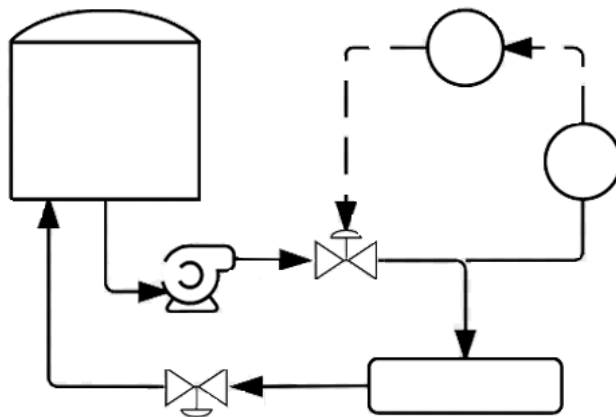


Figura 4. Representación simbólica de tuberías de Instrumentación

Para Páez (2009) los esquemas de instrumentación se representan mediante la realización técnica de un sistema de control la cual está representada por gráficos simbólicos que corresponden a equipos, a la maquinaria y a las tuberías, junto con los correspondan a los símbolos gráficos para las funciones de medida de control.

El esquema será representado como mínimo lo siguiente:

- Designación del fluido de señal.
- Las características de las condiciones de funcionamiento.
- Las funciones de medida de control.
- Los equipos de seguridad.
- Recorrido del fluido de señal y de proceso.
- Las abreviaturas según la norma ISA.
- Simbolización de las señales.

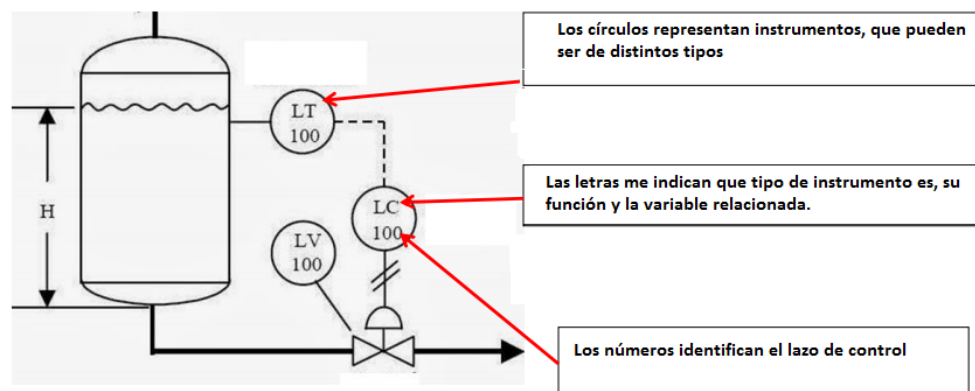


Figura 5. Partes un diagrama de Instrumentación





Instrumento Discreto	
Display Compartido, Control Compartido	
Función de computadora	
Control Lógico Programable	

Figura 6. Representación simbólica de Instrumentación

SIMBOLO	SIGNIFICADO
	Montado en campo o localmente
	Montado en el panel principal, accesible al operador
	Montado detrás del panel o consola de instrumentos (no accesible al operador)
	Montado en tablero o panel de instrumentos auxiliar
	Montado en panel auxiliar, no accesible al operador.

Figura 7. Ubicación de los Instrumentos












	Montado en Tablero	Montado en Campo	Ubicación Auxiliar.
	Normalmente accesible al operador		Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

Figura 8. Posición de los Instrumentos

2.2.16 Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en:

2.2.16.1 Sistemas de control de lazo abierto

“El sistema de control de lazo abierto es aquel que se le asigna un SETPOINT de acuerdo a eso obtendremos una salida que no influirá sobre mi señal de entrada solo dependerá de la configuración que le daremos al inicio del control y dependiendo el proceso” (Páez, 2009).

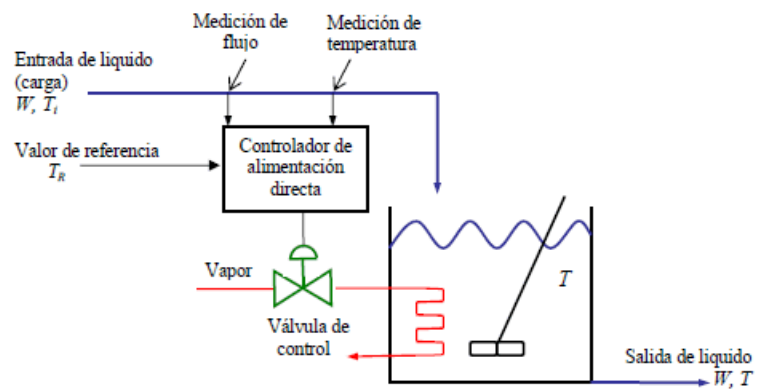


Figura 9. Sistemas de control lazo abierto

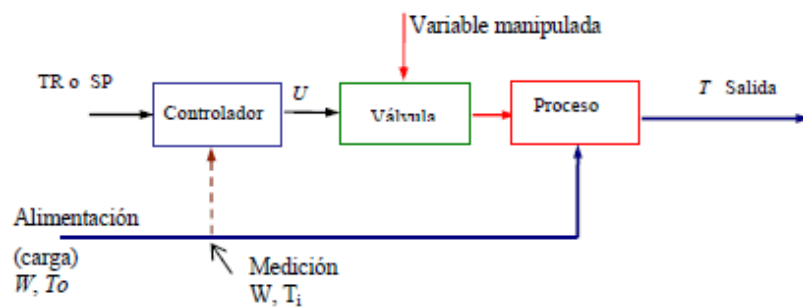


Figura 10. Diagrama de bloques de un sistema de lazo abierto.

Estos sistemas de lazo abierto presentan varios inconvenientes en el proceso que son sensibles a las perturbaciones.

2.2.16.2 Sistema de control de lazo cerrado

“Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es en cierto modo, dependiente de la salida, la señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en la función de salida. Este se consigue por medio de lo que llamamos retroalimentación” (Páez, 2009).

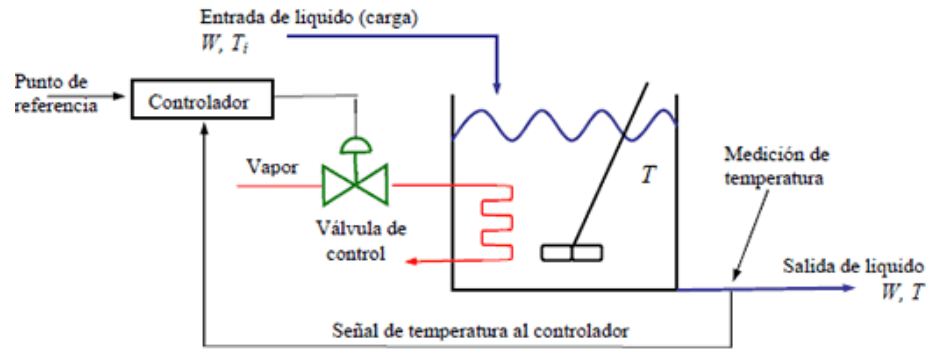


Figura 11. Sistemas de control lazo cerrado

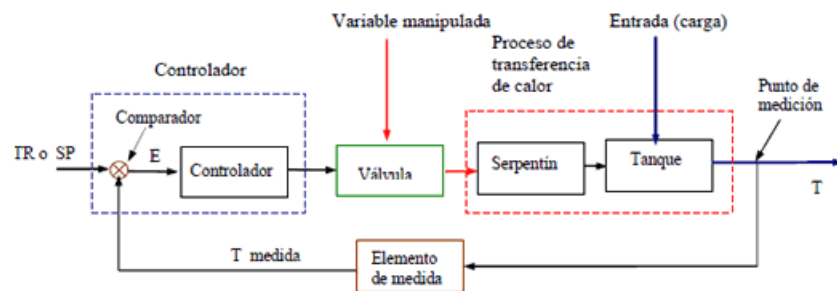


Figura 12. Diagrama de bloques del sistema de lazo cerrado

2.2.17 Teorías y principio de medición e instrumentos de control

2.2.17.1 Flujómetro

Según Gutiérrez e Iturralde (2017) el flujómetro se encarga de medir el gasto volumétrico o caudal de los fluidos. Así mismo es considerado uno de los instrumentos más empleados en la industria. También son utilizados para medir la fuerza o velocidad de los líquidos cuando se encuentran en movimiento. Una ventaja de estos dispositivos es que se puede medir la densidad, el caudal y la temperatura a diversidad velocidades (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

- **El flujómetro electromagnético**

Dispositivo que tiene basado su funcionamiento en la ley de Faraday. Se emplean para lecturas donde se requiere una mayor precisión al momento de medir el flujo volumétrico como en la industria alimenticia, tratamiento de aguas, etc. Así mismo son ideales para medir flujos donde se encuentre melaza o barro (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

- **Flujómetros ultrasónicos**

Se utilizan mayormente para medir el flujo al interior de las tuberías de agua, en los cuales la pérdida será mínima. No presentan riesgo de corrosión, tienen una instalación fácil y en relación al costo es asequible (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

- **Coriolis**

Su funcionamiento se basa en el principio de las fuerzas inerciales. Se pueden medir aceites, disolventes, combustibles, detergentes, látex, benceno, grasa animal, jugos de frutas, vinagres, pastas dentales, alcohol, cátsup, gases, mayonesa, tolueno, etc. En la actualidad es el flujómetro más empleado a nivel industrial, una de sus principales ventajas es que puede registrar el simultáneo el caudal másico, la densidad del flujo y la temperatura que presente el fluido, debido a esta característica se les denomina multi-variable (Gutiérrez e Iturralde, 2017). Algunas áreas industriales donde se emplean son: control y supervisión de calidad, industrias de envasado de alimento, mezcla y materias primas, medición de flujos con densidades variantes, dosificación y llenado de ingredientes en la industria alimentaria.

2.2.18 Presión diferencial

2.2.18.1 Medidor de Flujo por presión Diferencial

Según Gutiérrez e Iturralde (2017), este medidor está constituido por un diafragma con presencia de líquido en su interior para el llenado de ambas cámaras del transmisor, de esta manera conduce la presión detectada en el proceso, conjuntamente con la presión que tiene como referencia a los platos capacitivos del sensor. Por lo tanto, cuando se

ejecuta una presión en el diafragma, esto se ve reflejado en un cambio de la capacitancia por la deformación de los diafragmas, generando de esta manera una señal de presión. Posteriormente esta señal es transferida al sensor mediante otro diafragma de insolación, rellenando con líquido al sistema capilar sellado, empleando un sensor de presión diferencial que esta conectado al extremo opuesta del capilar. La presión es transmitida usando un segundo diafragma de insolación que contiene aceite de silicona hacia un diafragma sensorial. Una presión de referencia equilibrará el diafragma de detección en el otro lado de este diafragma. Un cambio en la presión P_1 de una unidad de procesamiento hará que la presión P_2 cambie al final del tubo capilar (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

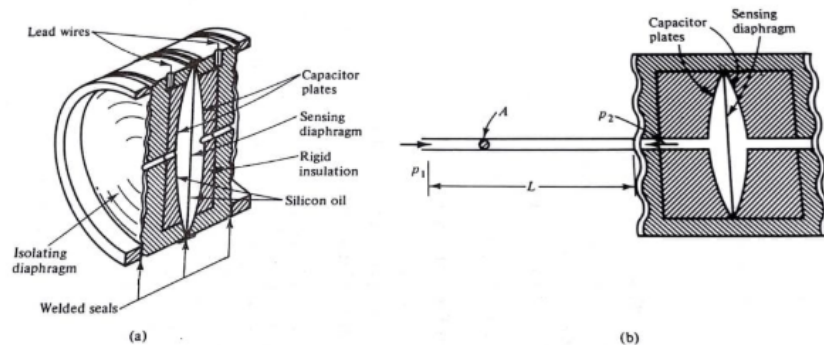


Figura 13. Medidor de flujo por presión diferencial.

2.2.19 Estudios físicos

2.2.19.1 Ley de Faraday

Según Flowmeet (2003) gracias a los aportes y conocimientos realizados por Michael Faraday, nos permiten realizar las mediciones de fluidos en movimientos.

En la figura 14, se aprecia un experimento para medir el efecto Faraday. Las bobinas de Helmholtz permiten la uniformidad en el campo, para así dar una respuesta lineal en el caudalímetro. Sin embargo, debido a las proporciones sería inviable la construcción de un caudalímetro basándose solo en la geometría de Helmholtz. (Flowmeet, 2003).

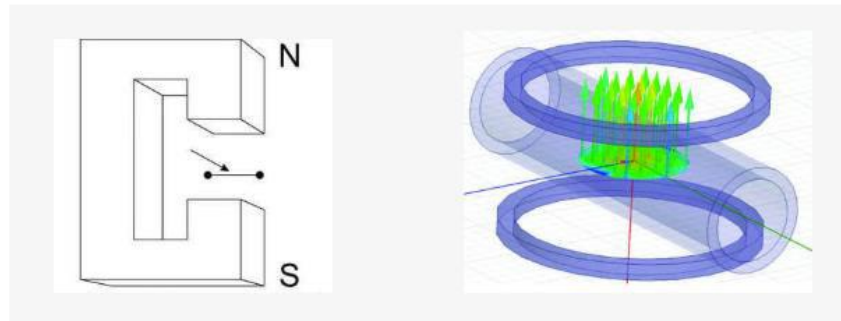


Figura 14. Experimento y simulación de la ley de Faraday.

Caudalímetro

Según Flowmeet (2003) la construcción de un caudalímetro se realiza mediante la ubicación de dos electrodos colocados tangencialmente en la cañería, de tal manera que el líquido en su interior los vinculará si

el conductor es eléctrico, siendo esta galvánica unión un efecto de conductor en movimiento. Por otro lado, de tratarse de un caso real no se podría inducir que la lectura del caudalímetro resulte del postulado de la ley de Faraday hacía la línea rectilínea que une los electrodos. Se puede suponer entonces una diversidad de caminos formados por fibras que interconectar los electrodos, tal como se aprecia en la figura 15.

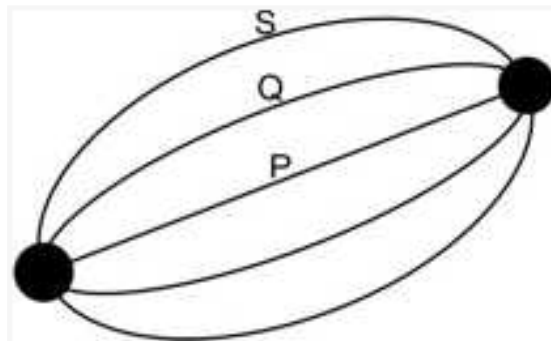


Figura 15. Representación del comportamiento de un caudalímetro electromagnético.

Tanto para el camino S, el camino Q y el camino P, se puede inferir que son centros de tubos que se conectan a sí mismos mediante sus superficies en contacto, sus longitudes son diferentes, de igual manera con la velocidad que presenta el fluido, diferirán dependiendo el punto tomado en el perfil de la cañería. Demos agregar que los caminos tienden a alejarse de campo formado por las bobinas. Finalmente se

puede llegar a la ecuación antes mencionada como relación de caudal y la señal eléctrica (Flowmeet, 2003):

$$\Delta E = D \cdot V \cdot B$$

ΔE : Tensión inducida entre los electrodos.

B: Campo magnético.

D: Diámetro de la cañería.

V: Velocidad media del fluido.

Esta ecuación es válida si se tiene en consideración lo siguiente: El campo magnético es uniforme en una determinada región. La velocidad del fluido tiene un perfil que es axial-simétrica. El punto más crítico es el primero, mantener el flujo magnético uniforme es un desafío de considerables dimensiones en los actuales diseños compactos (Flowmeet, 2003).

2.2.19.2 Ley de la termodinámica

Según Tomé (2017) la ley de la conservación de la energía quiere decir que no se crea ni se destruye. Energía que se transfiere entre dos sistemas debido a la diferencia de temperatura. Podríamos entonces agregar calor a las energías potencial y cinética de un sistema, y llamar a esta suma la energía total, que es lo que conservaría. De hecho, esta

solución funciona bien para una gran variedad de fenómenos, incluyendo los experimentos de Joule.

2.2.19.3 Variador de velocidad

Descripción del variador de CA de frecuencia ajustable POWER FLEX.

Según Allen-Bradley (2013) este variador de frecuencia también conocido como accionamiento de velocidad variable nos permite controlar la velocidad de motores la cual es muy utilizado para controlar el nivel de reservorios, tanques, etc. Los variadores de CA PowerFlex 40 de Allen-Bradley, que brindan a los usuarios un poderoso control de la velocidad del motor en un diseño compacto que ahorra espacio, son los miembros más pequeños y rentables de la familia de variadores PowerFlex. Disponible en clasificaciones de potencia de 0,2 a 11 kW (0,25 a 15 HP) y en clases de voltaje de 120, 240, 480 y 600 voltios, PowerFlex 40 están diseñados para satisfacer las demandas globales de OEM y usuarios finales de flexibilidad, ahorro de espacio, facilidad de uso y son alternativas rentables para el control de velocidad de aplicaciones tales como máquinas herramienta, ventiladores, bombas y transportadores y manejo de materiales sistemas.



Figura 16. Variador de velocidad PowerFlex.

2.2.20 Destilación continua

Es el proceso de fermentación a partir de vinos, formando una melaza a la cual se le aplica una destilación continua para generar alcohol etílico, traslúcido. La cual obtendría una óptima destilación de alcohol (Chase, R.B. y Jacobs, F. R., 2017).

Equilibrio de fases

Según Chase, R.B. y Jacobs, F. R. (2017) el requisito para mantener en equilibrio las fases es que no se presenten tendencias de la materia o energía que crucen la interface que las separa. Como conclusión se puede deducir que la transferencia de energía o materia puede ser reversible. Como resumen las condiciones para que exista equilibrio son: no se presente un desplazamiento sobrepasando el límite entre las fases, no se presente transferencia de calor neta entre las fases, considerar nuela la transferencia neta de materia entre las fases

2.2.21 Destilación continua con reflujo y método McCABE-THIELE

Se define como una combinación de las vaporizaciones originada por una serie de separaciones, que fluyen de forma inversa, ya sean vapores o líquidos.

La destilación continua de flujo se emplea cuando existe una volatilidad relativa en los dispositivos y a su vez es posible su comparación.

El método McCabe-Thiele permite calcular el número de etapas teóricas necesarias en la obtención de la mezcla, empleando un algoritmo gráfico. Se utiliza la curva de equilibrio y los balances de materia para calcular las líneas de operación en cada sección (Chase, R.B. y Jacobs, F. R., 2017)

Reflujo total

Chase, R.B. y Jacobs, F. R. (2017) afirman que el reflujo total o reflujo infinito permite retornar a la torre todo los fondos y productos obtenidos, así mismo no existe alimentación al equipo.

En el caso que la volatilidad relativa de la mezcla binaria es constancia, se propone una ecuación para determinar de manera analítica el número mínimo de etapas teóricas requeridas (Chase, R.B. y Jacobs, F. R., 2017).

$$N_m = (\text{Log} [(X_p/1-X_p) (1-X_w / X_w)] / \text{Log } \alpha_{\text{prom}})$$

$$\alpha_{\text{prom}} = (\alpha_d (\alpha_w)^2)$$

Donde:

Nm: Número mínimo de etapas teóricas

α prom: Volatilidad relativa promedio de la mezcla

α d: Volatilidad relativa del vapor superior

α w: Volatilidad relativa del líquida residual

2.2.22 Programas para PLC

2.2.22.1 El software de programación RSLOGIX 5000 V20

“El software RSLogix 5000 es un software de diseño y configuración basado en la arquitectura integrada de Rockwell Automation.

Proporciona un entorno común para que los usuarios programen controladores Allen-Bradley ControlLogix y CompactLogix en configuraciones estándar y de seguridad, así como varios módulos de redundancia, comunicación, movimiento y E/S para todos. También es compatible con la solución de controlador de PC abierta SoftLogix” (Allen-Bradley, 2000).

Ya sea que se base en aplicaciones discretas, de proceso, por lotes, de movimiento, de seguridad y de variador, RSLogix 5000 proporciona una interfaz fácil de usar que cumple con IEC61131-3, programación simbólica con estructura y matriz, y un conjunto de 'aplicaciones para múltiples aplicaciones Descripción completa.

Proporciona lógica de escalera, texto estructurado, diagrama funcional y editor de diagrama de función de secuencia para el desarrollo de programas, y proporciona control de máquinas y lotes para el modelo de estado de fase de la aplicación del equipo S88.

El sistema de arquitectura integrada y RSLogix 5000 pueden ayudar a los clientes a optimizar de manera eficiente y efectiva toda la planta en varias industrias. La plataforma brinda a los usuarios acceso en tiempo real a la información y los ayuda a maximizar el rendimiento, reducir el tiempo de desarrollo y puesta en marcha del proyecto, reducir los costos de mantenimiento y capacitación, y mejorar la productividad general. Simulink PLC Coder™ permite a los usuarios implementar algoritmos de control diseñados por Simulink como texto estructurado IEC 61131-3 en el entorno de programación RSLogix 5000. Este texto estructurado se puede importar como subrutina o instrucción adicional (AOI) en RSLogix 5000. Allen-Bradley (2000).

El ciclo de ejecución de un programa consta de 2 partes:

- Barrido de programa (program scan).
- Barrido de entradas/salidas (I/O scan).

Finalizada la compilación del programa se efectúa la actualización de los datos en la entradas y salidas. Instrucciones Básicas de Programación Allen-Bradley (2000). Estas instrucciones se agrupan en tres categorías: temporización, cuenta y bit.

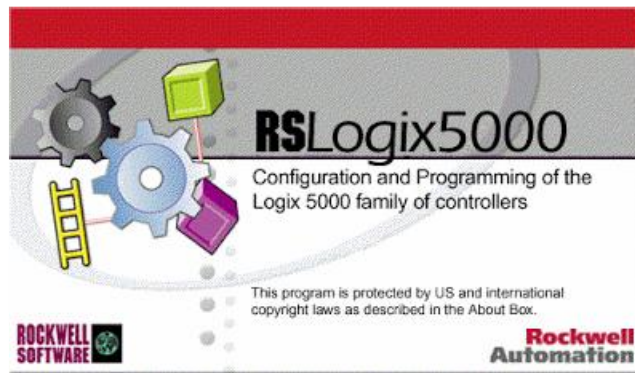


Figura 17. Software RSLogix5000

2.2.22.2 Interfaz humano - máquinas (HMI)

“Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo". Todos los modelos PanelView Component tienen puertos RS-232 y RS-422 / RS-485 para comunicarse a través de redes seriales con los controladores de las series MicroLogix y SLC. Los terminales HMI PanelView son dispositivos de visualización gráfica montados en panel que ofrecen opciones de entrada de operador con teclado táctil o pantalla táctil. Los tamaños de pantalla varían desde paneles planos de 2 pulgadas, 3 pulgadas, 6 pulgadas a 10 pulgadas. Comunicación compatible con dispositivos Modbus, Modbus / TCP. Además, cada terminal

PanelView Component tiene dos puertos USB para transferir archivos de configuración o actualizar el firmware Allen-Bradley (2000)



Figura 18. HMI Panel View plus 1000 - 10” – Allen Bradley.

2.2.22.3 Tipos de HMI

Actualmente se clasifican en dos tipos:

- Operador de terminal, son dispositivos que se emplean en lugares donde el ambiente es hostil, y solo se requiera visualizar datos alfanuméricos o numéricos de forma gráfica. Se pueden emplear pantallas tipo touch Allen-Bradley (2000).
- Software y PC, son programas desarrollados en computadoras para interconectarse con el controlador o PLC, obtener su información y representar mediante indicadores gráficos las señales de los sensores o actuadores, así mismo también se puede programar instrucciones más completas dentro de la interfaz Allen-Bradley (2000).

2.2.22.4 Software HMI

Programa donde se implementa la interfaz gráfica para el usuario, se establece los protocolos de comunicación con los controladores y los tipos señales que se representará. Puede albergar datos como, alarmas, niveles de temperatura, registro de información en base de datos, gráficas en tiempo real, etc. Allen-Bradley (2000). Los principales desarrolladores de software para interfaces son: Siemens, National Instruments, Allen-Bradley, Wonderware, GE Fanuc, Omrom, etc.

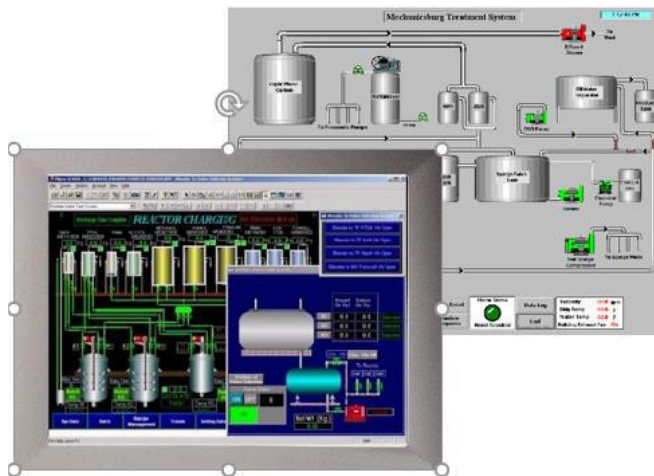


Figura 19. Ejemplo de pantalla HMI.

2.2.22.5 Software FactoryTalk View Machine Edition

Rockwell Automation (2020) menciona que el software FactoryTalk View Machine Edition (ME) es una aplicación de HMI versátil que proporciona una solución dedicada y potente para dispositivos de interfaz de operador a nivel de máquina. “Como un elemento integral de la solución de visualización de Rockwell Automation, FactoryTalk View Machine Edition ofrece gráficos superiores, administración de

usuarios en tiempo de ejecución, cambio de idioma y un tiempo de puesta en servicio más rápido a través de un entorno de desarrollo común. FactoryTalk View Machine Edition permite una interfaz de operador consistente en múltiples plataformas, incluidas las soluciones de escritorio PanelView Plus y Windows, y consta de el FactoryTalk View Studio: software de configuración para desarrollar y probar aplicaciones HMI” (Rockwell Automation, 2020), menciona las siguientes características del software:

Reducir el tiempo de puesta en servicio:

- Un proceso de instalación simplificado.
- Objetos globales reutilizables.
- Capacidad de búsqueda y reemplazo para etiquetas y texto en múltiples pantallas y objetos globales.
- Enlace directo a una ubicación de etiqueta específica mediante la capacidad de referencia cruzada.
- El tiempo de ejecución y el cambio de idioma en el tiempo de diseño significan que las implementaciones en varios idiomas se pueden lograr con mayor facilidad.
- La configuración de seguridad de cada aplicación se gestiona por separado; Haciendo que sea más fácil cambiar entre aplicaciones.

Eficacia del tiempo de diseño:

- Defina etiquetas y pantallas gráficas una vez y haga referencia a ellas en toda la aplicación.
- Maximice la productividad accediendo directamente a la información de la etiqueta en el controlador, eliminando la necesidad de crear etiquetas HMI.
- Editor de gráficos completo con potentes herramientas de edición, objetos de dibujo, dispositivos de operador pre configurados y capacidades de animación.
- Biblioteca de gráficos con cientos de objetos gráficos para arrastrar y soltar en pantallas.
- Aplicaciones faciales reutilizables y objetos globales que aceleran el desarrollo de aplicaciones. Expandir la flexibilidad y la capacidad de la máquina.
- Registro de datos para análisis de tendencias.
- Gestiona usuarios y grupos mientras la aplicación se está ejecutando.
- Acceso a la información del terminal en tiempo de ejecución.
- Acceso a la documentación a través del Visor de PDF.
- Controles ActiveX que simplifican tareas complejas en tiempo de ejecución



Figura 20. Software Factory Talk View Machine Edition.

2.2.23 Hardware HMI

Según Rockwell Automation (2020) deben ser compatibles con los dispositivos que se emplean en la automatización, como los PLC y contar con protocolos de comunicación. Así mismo debe generar una interfaz gráfica llamada SCADA y programa por un editor con conocimientos en automatización.

Se puede clasificar en los siguientes tipos:

- Mobile Panels: Desarrollados para ser compatibles con pantalla de celulares o smartphones.
- Push Button Panels: Estas pantallas presentan botoneras e indicadores iluminados.
- Micro Panels: Son pequeñas pantallas monocromáticas, se emplean para información alfanumérica.
- Panels: La pantalla se interactúa mediante touch o pulsadores, se pueden visualizar datos alfanuméricos como gráficas a colores.
- Multi Panels: Permite supervisar una variedad de procesos en simultáneo.

RSLogix Emulate es una herramienta de solución de problemas y depuración que puede emular la mayoría de las operaciones de los procesadores Allen-Bradley PLC-5 y SLC-500. Eso ejecuta sus programas de lógica de escalera en su computadora, actualizando su tabla de datos de los programas, que le permiten aproximarse a lo que va a suceder cuando descargas tus programas a procesadores físicos PLC-5 (Rockwell Automation, 2020)

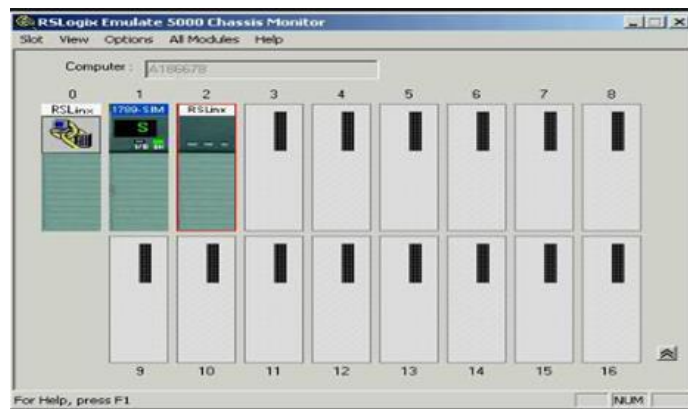


Figura 21. Interfaz RSLogix Emulate

2.2.24 SIL (Safety Integrity Level)

Según Festo (2017) en la industria deben reducirse los peligros a los que puedan estar expuestos las personas, los bienes y el medio ambiente. Para ello se deben implementar dispositivos de seguridad. De acuerdo al potencial riesgo, se clasifican desde SIL1 a SIL4.

Frequency	5	SIL3	SIL4	X	X	X
	4	SIL2	SIL3	SIL4	X	X
	3	SIL1	SIL2	SIL3	SIL4	X
	2	-	SIL1	SIL2	SIL3	SIL4
	1	-	-	SIL1	SIL2	SIL3
		1	2	3	4	5
Severity of Consequence						

Figura 22. Niveles de seguridad integrada.

2.3. Bases filosóficas

Ripani, L., Soler N., Kugler, A., Kugler M. y Rodrigo R. (2020) menciona que la automatización industrial se encuentra en un crecimiento sin precedentes en la región de américa latina, influenciada en gran parte por el covid-19 y el proceso de desarrollo digital. Sin embargo, aunque esto suene alentador y próspero para un estado e impulsar su desarrollo tecnológico, también representa una gran desigualdad laboral debido que esta nueva tecnología necesita personal preparado que pueda comprenderlo y operarlo, quien no esta a la vanguardia de los conocimientos será relegado.

Rosado (s.f) nos recuerdo que el ser humano en el transcurso de su evolución siempre a buscado mejorar su calidad de vida, y que esta será mas cómoda y fácil. Por ello los inventores han construido y diseñado a lo largo de la historia una variedad de maquinarias para facilitar los trabajos rudimentarios, sin embargo, debido a las limitaciones tecnológicas de la época, muchos de los inventores eran poco eficientes, por ende, en el contexto actual donde predomina una evolución tecnológica constante, podemos afirmar que efectivamente se esta logrando facilitar la vida y el trabajo que requería un esfuerzo directo del hombre.

2.4. Definición de términos básicos:

- ✓ **Control:** “Es un mecanismo preventivo y correctivo adoptado por la administración de una dependencia o entidad que permite la oportuna detección y corrección de desviaciones, ineficiencias o incongruencias en el curso de la formulación, instrumentación, ejecución y evaluación de las acciones, con el propósito de procurar el cumplimiento de la normatividad que las rige, y las estrategias, políticas, objetivos, metas y asignación de recursos” (Brunete, A., San Segundo, P. y Herrero, R., 2021).

- ✓ **Controlador:** “Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error y actuar a fin de corregir este error. Entonces la función del controlador es mantener la variable controlada dentro de los criterios previamente establecidos” (Brunete, A., San Segundo, P. y Herrero, R., 2021).

- ✓ **Reprogramable:** “Diseñado para que los movimientos programados o funciones auxiliares se pueden cambiar sin alteración física. Nuestro robot cuenta con la característica que puede adaptarse a cualquier pista de competición en la categoría seguidores de línea, ya que el Microcontroladores puede ser reprogramado de acuerdo a las circunstancias en la cuales deba desarrollarse la competencia” (Angulo, J., & Angulo, I., 2003).

- ✓ **Sensor:** “Es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las

magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas” (Ollero de Castro, P. y Fernández, E., 2012).

- ✓ **Sistema:** “Es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben datos, energía o materia del ambiente y proveen información, energía o materia” (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

- ✓ **Sistema de adquisición de datos:** “La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable” (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

- ✓ **Sistema de control:** “Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados” (Cova, W., 2005).

2.4 Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis general

- Se diseñó el Sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.

2.4.2 Hipótesis específicas

- Se diseñó la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.
- Se diseñó la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.
- Se diseñó la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.

2.5 Operacionalización de las variables

Las variables de investigación se presentan a continuación:

- **Variable 1:** SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN
- **Variable 2:** PROCESO DE DESTILACIÓN DE ETANOL

Cuadro 1.

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Sistema de automatización	“Sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas	Parte operativa	<ul style="list-style-type: none">• Tanques• Motores• Sensores	Cuestionario para medir las variables: Sistema

	habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos” (Ollero, 2012).	Parte de mando	<ul style="list-style-type: none"> • Controlador lógico programable • Programación de PLC 	de Automatización y Proceso de destilación de alcohol. (ANEXO 1).
		Interfaz gráfica	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz Hombre-Máquinas (HMI) • Diseño Scada de los Tanques 	
Proceso de destilación de etanol	“Separa el etanol de los demás componentes de la mezcla, que es agua en su mayor parte” (Gonzales et al., 2018)	Producción de alcohol de primera	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad del tanque 1 • Cantidad del tanque 2 • Cantidad del tanque 3 • Cantidad del tanque 4 	
		Producción de alcohol de primera	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad del tanque mediano • Cantidad del tanque chico • Cantidad del tanque grande • Cantidad del tanque cilindro 	

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Tipo de investigación

- Investigación aplicada tecnológica.

Nivel de Investigación

- Al diseñar un sistema de automatización a bajo costo y en tiempo real para mejorar el proceso de destilación de etanol, abarcamos los conocimientos que desarrolla dicho sistema por lo tanto el nivel de investigación se considera de tipo aplicativo.

Enfoque

- La investigación a desarrollar toma un enfoque cuantitativo ya que se podrá hacer mediciones de las señales digitales y analógicas que proporciona el sistema de automatización, así como la cantidad de barriles/día de etanol producidos.

3.2 Población y muestra

3.2.1. Población

- Sistemas de automatización

3.2.2 Muestra

- Sistemas de automatización para el proceso de destilación de etanol

3.3 Técnica para la recolección de datos

Observación

- Se observará el proceso de simulación del Sistema automatizado para la mejora en el proceso de destilación de etanol, empresa azucarera Andahuasi, 2021.

Instrumentos para la recolección de datos

- Software RSLogix5000: Simulador de procesos virtuales

Software fundamental para la simulación del sistema automatizado ya que nos ayuda a conocer el comportamiento del proceso en base al código establecido.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Recolección de datos: A partir de la observación se realizará las tablas donde podemos ordenar los datos obtenidos.

Corrección y tabulación de datos: Luego de la aplicación del software de simulación, se procederá a la corrección y tabulación de los datos obtenidos, con el propósito de agrupar toda la información, de acuerdo a la necesidad que impone el trabajo de investigación.

Elaboración de cuadros y gráficos estadísticos: Se procede a graficarlos estadísticamente a través de cuadros y figuras estadísticas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

Se realiza la programación en el software RSLogix 500, empleando el lenguaje Ladder.

- En el segmento 0000 de la figura 23 se aprecia el proceso de enclavamiento para iniciar el sistema de control, activando la Bomba de vino (0.0)
- En el segmento 0001 de la figura 23 se observa el escalamiento de la señal para el VDF (Variador de frecuencia).

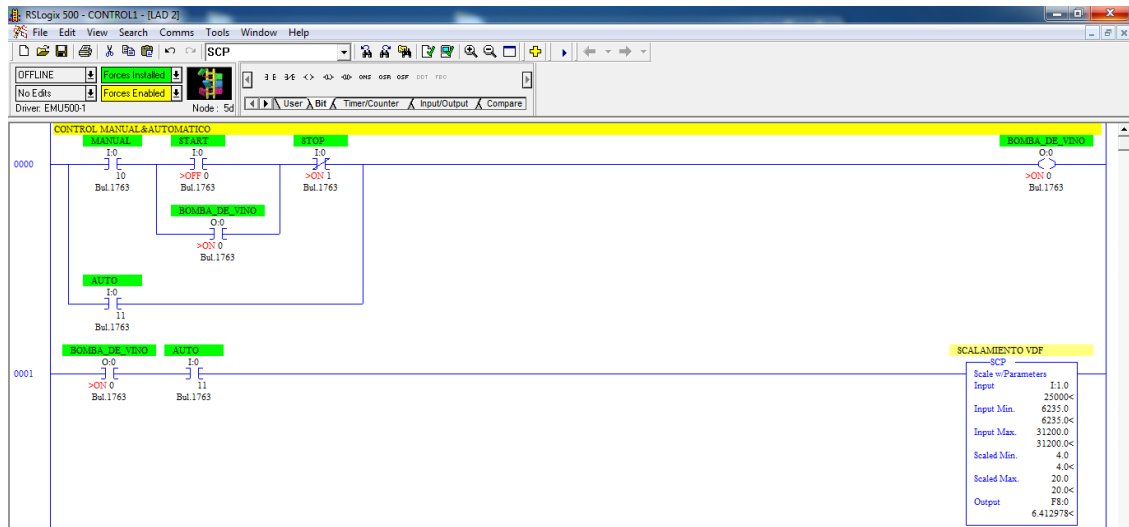


Figura 23. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0002 de la figura 24 se mueve la variable F8:0 a la dirección F8:2.

- En el segmento 0003 de la figura 24 se aprecia el proceso de enclavamiento para iniciar el sistema de control, activando la Bomba de vino (0.0)
- En el segmento 0004 de la figura 24 se observa el escalamiento de la señal para el VDF (Variador de frecuencia).

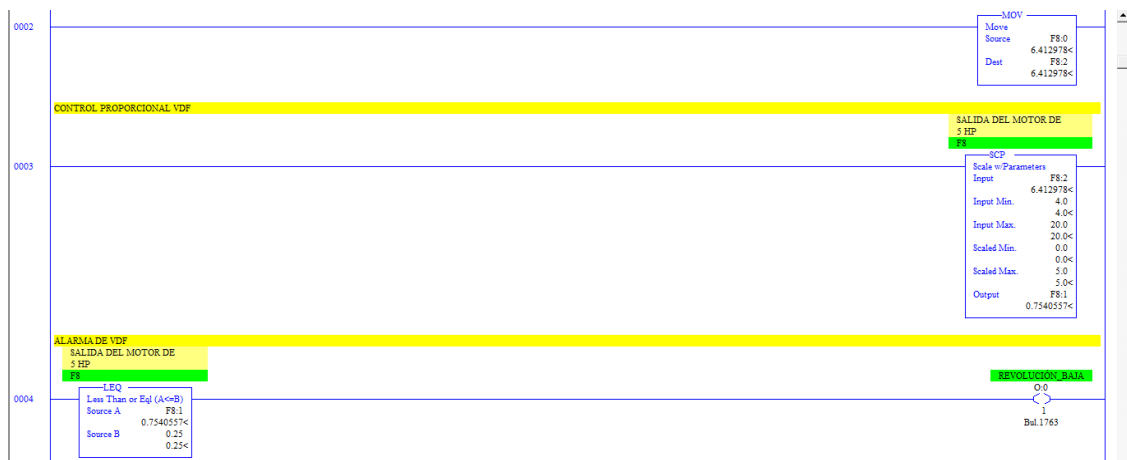


Figura 24. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0005 de la figura 25 se compara si la señal Source A con dirección F8:1 es mayor o igual que la señal Source B que es una constante de 4.75, en el caso que se cumpla esta condición se activa la señal de salida Revolución Alta.
- En el segmento 0006 de la figura 25 se realiza el escalamiento de la señal del sensor de temperatura.
- En el segmento 0007 de la figura 25, se obtiene la salida F8:3 en miliamperios (mA).

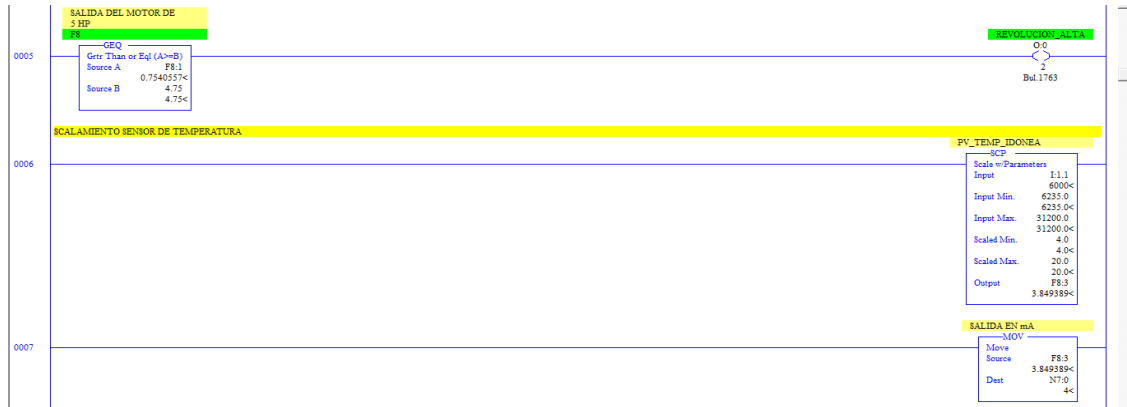


Figura 25. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0008 de la figura 26 se implementado el bloque del controlador PID.
- En el segmento 0009 de la figura 26 se configura la variable de salida F8:5 para la señal de temperatura y visualización en el HMI.
- En el segmento 0010 de la figura 26, se configurado el control de temperatura y escalamiento para el punto de destilación.

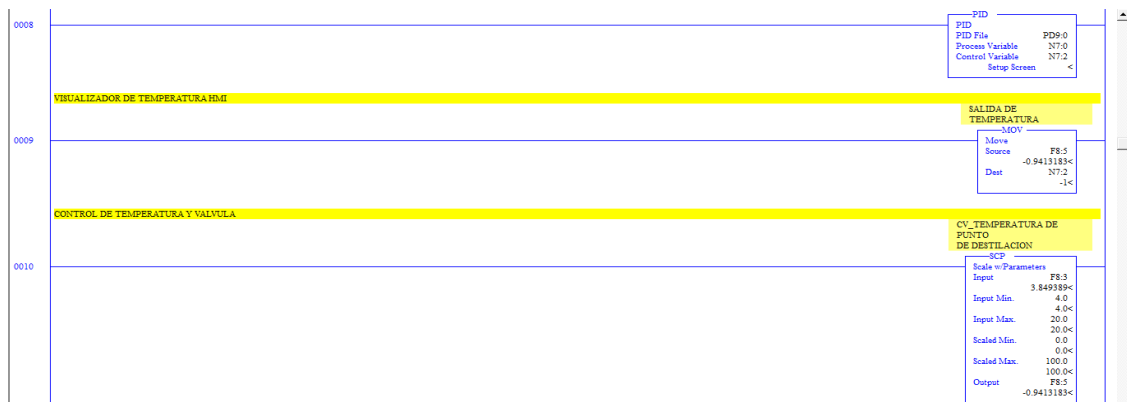


Figura 26. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- Para los segmentos 0011, 0012, 0013, 0014 de la figura 27 se configuran los parámetros de temperatura a los cuales se activan las salidas: descargando alcohol, alto agotamiento, normal agotamiento y evaporización.

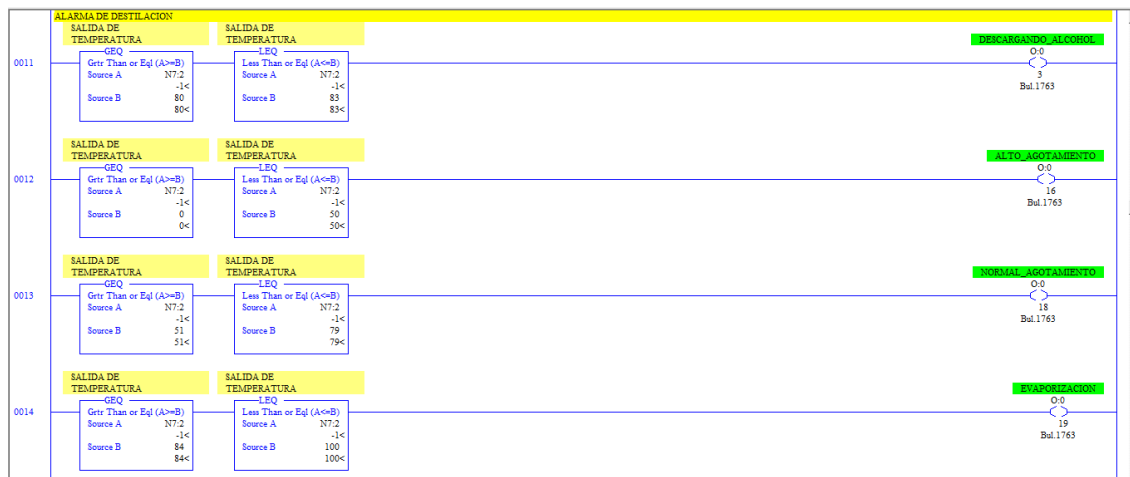


Figura 27. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0015 de la figura 28, se establece los parámetros para el escalamiento de la temperatura de reflujo.
- En el segmento 0016 de la figura 28 se mueve el valor de la variable F8:6 a N7:5.
- En el segmento 0017 se establece el control PID para la temperatura de reflujo.

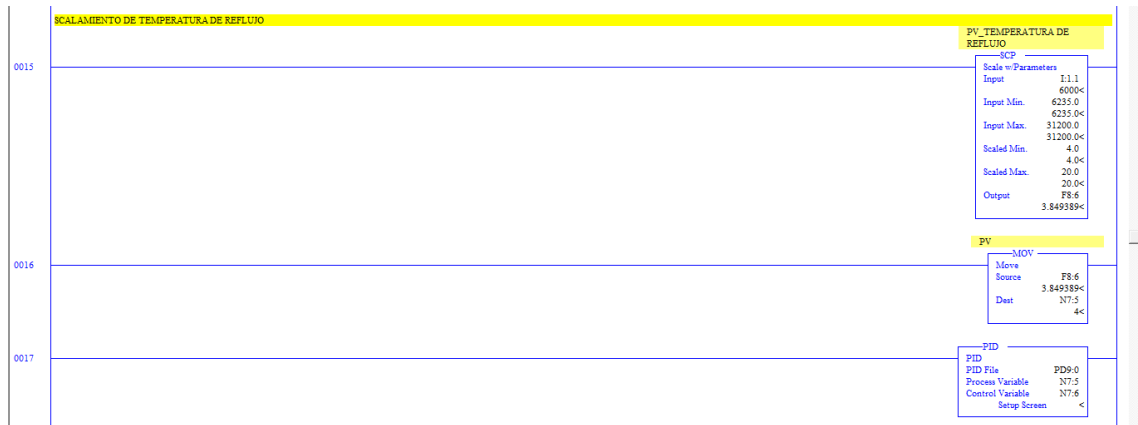


Figura 28. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0018 de la figura 29 se mueve el valor de la variable F8:7 a N7:6.
- En el segmento 0019 de la figura 29 se establece los parámetros de salida para el escalamiento de la señal de reflujo en temperatura de 0 a 100°C.

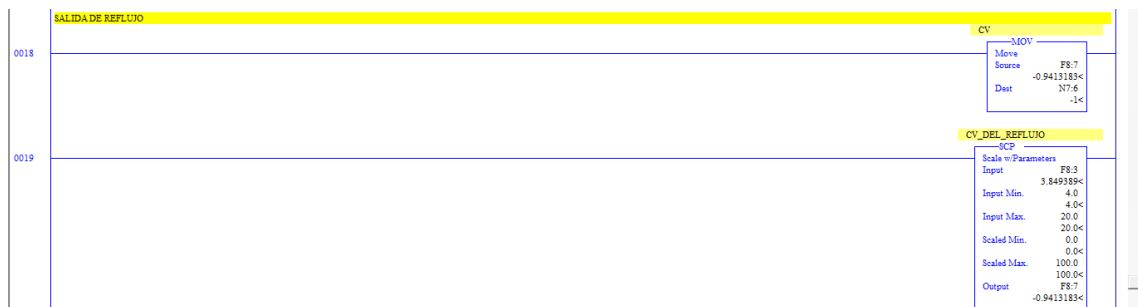


Figura 29. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0020 de la figura 30 se captura la variable de proceso que mide el sensor de nivel y se escala para realizar el control del calderín.

- En el segmento 0021 de la figura 30 se establece comparadores mediante las condiciones de la alarma de sensores en falla y la variable de proceso sensor de nivel para activar la salida 4 (Sensor desconectado).
- En el segmento 0022 de la figura 30 se mueve el valor de la variable F8:4 a N7:7.

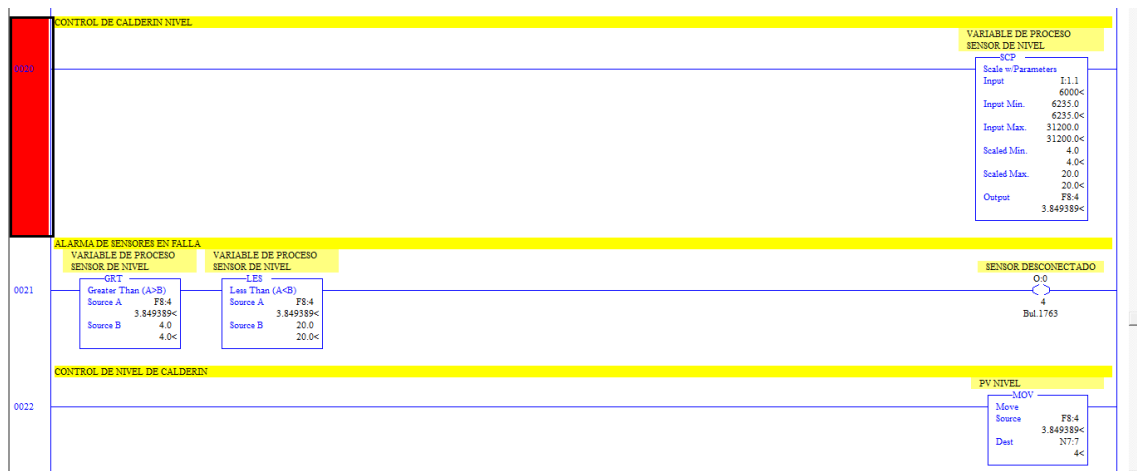


Figura 30. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0023 de la figura 31 se establece el control PID para la variable del proceso N7:7.
- En el segmento 0024 de la figura 31 se mueve el valor de la variable F8:8 a N7:8 (Control de nivel).

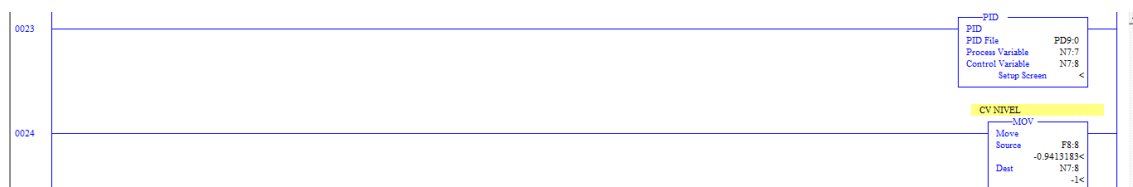


Figura 31. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En el segmento 0025 de la figura 32 se establece el escalamiento para el nivel de purga del calderín.
- En el segmento 0026 de la figura 32 se establece el escalamiento para el nivel de temperatura.
- En el segmento 0027 de la figura 32 se coloca el bloque de finalización de la programación (END).

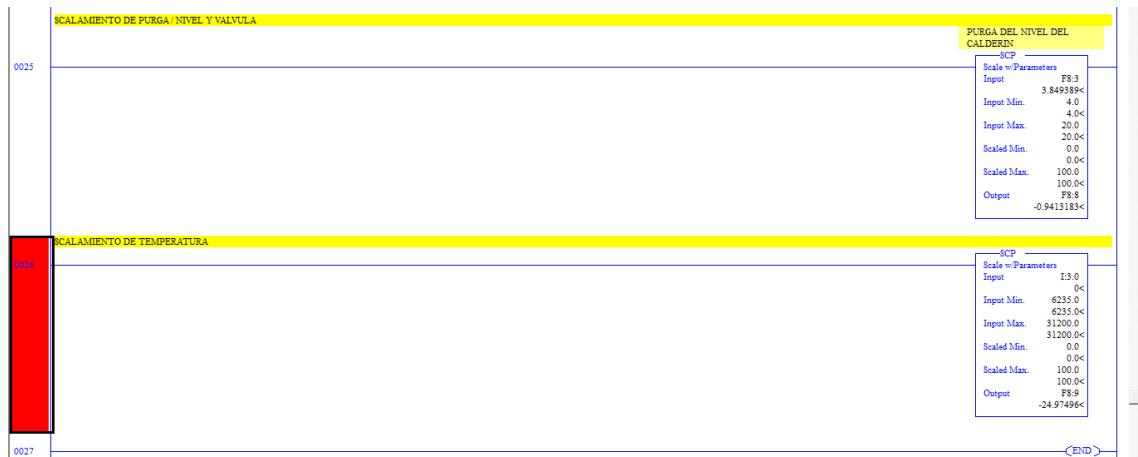


Figura 32. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En relación al diseño de la interfaz HMI, en la figura 33 se puede apreciar la configuración para la destilación del alcohol.

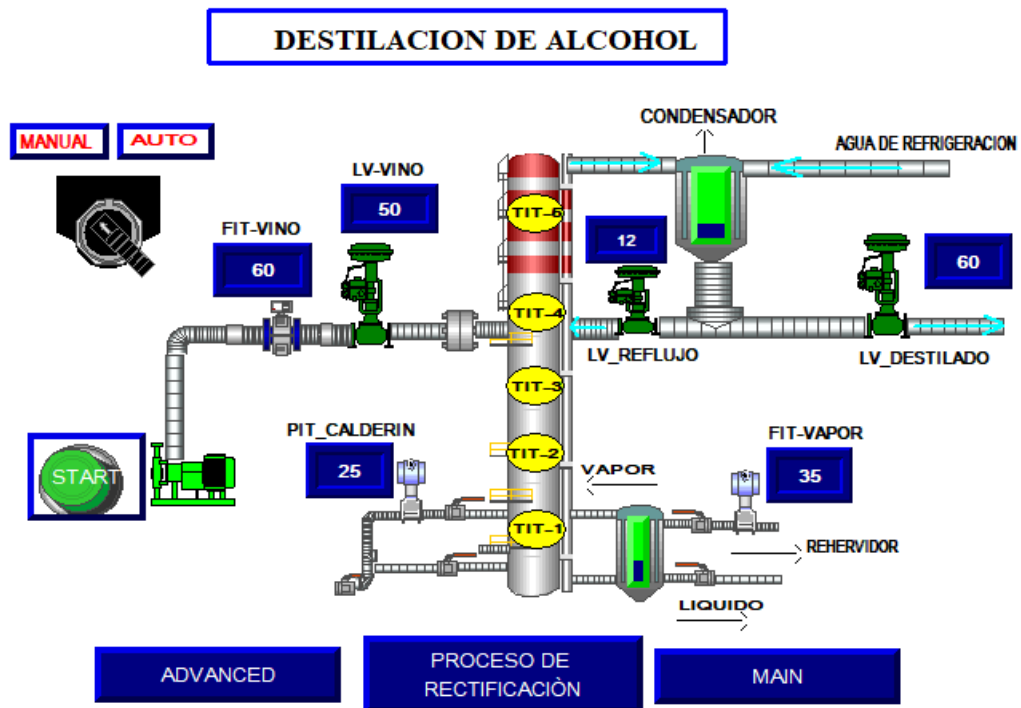


Figura 33. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

- En relación al diseño de la interfaz HMI, en la figura 34 se puede apreciar la configuración para el proceso de rectificación.

PROCESO DE RECTIFICACIÓN

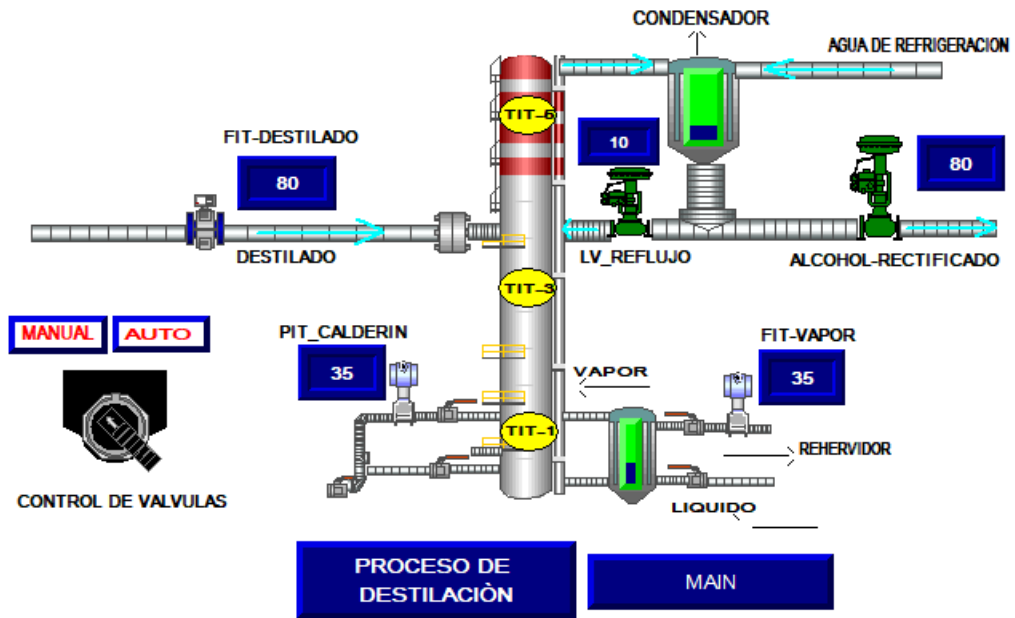


Figura 34. Secuencia de enclavamiento para la bomba de vino

Tabla 1.

Presupuesto estimado para el desarrollo del sistema de automatización

Cantidad	Descripción	Precio
1	HMI Panel View plus 1000	S/ 2800.00
1	MICRO 850	S/. 1740.00
1	MODULO DE ENTRADA ANALÓGICA	S/ 850.00
1	MODULO DE SALIDA ANALÓGICA	S/ 850.00
1	SWITCH 5 PUERTOS	S/. 60.00
1	VDF POWERFLEX 40	S/ 1500.00
1	VALVULA DE CONTROL	S/ 1800.00
1	TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL	S/. 2500.00
1	TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN	S/ 350.00
1	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	S/ 800.00
1	RTD CON SALIDA 4-20 mA	S/. 50.00
TOTAL		S/ 13,300.00

Autoría propia.

4.2. Contrastación de hipótesis

La hipótesis específica 1 que se planteó fue: Se diseño la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021. Como se detalló en los resultados, se muestra los componentes electrónicos y su relevancia en la parte operativa del diseño de automatización

La hipótesis específica 2 que se planteó fue: Se diseñó la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021. Como se puede visualizar en las figuras del 23 a 32, se detallan los segmentos de programación que se desarrollaron en el software RSLOGIX EMULATE 5000 para el diseño de automatización

La hipótesis específica 3 que se planteó fue: Se diseñó la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021. Como se puede visualizar en las figuras 33 y 34, se evidencian las interfaces HMI para la destilación del alcohol y el proceso de rectificación.

La hipótesis general que se planteó fue: Se diseñó el Sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021. Tal como se ha detallado en los resultados, se cumplió con realizar la programación en Ladder y diseñar la interfaz gráfica para monitorear las señales del proceso. Así mismo de la encuesta realizada al personal calificado que opera en la planta azucarera Andahuasi con relación al proceso implementada, se obtuvo la siguiente información:

Tabla 2. Correlación de Pearson entre las variables Sistema de automatización y proceso de destilación de alcohol.

		Sistema de automatización	Proceso de destilación de alcohol
Sistema de automatización	Correlación de Pearson	1	,890**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	23	23
Proceso de destilación de alcohol	Correlación de Pearson	,890**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	23	23

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Autoría propia.

El coeficiente de correlación de Pearson resulto de 0,890 lo que significa que si existe una relación significativamente positiva con correlación alta.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Nuestros resultados coinciden con lo propuesto por Navas (2014) quien empleó un control de tipo lazo cerrado como estrategia de automatización. De igual manera Iza (2010) en su investigación empleó para su proceso automatizado de nivel un control de lazo cerrado permitiendo que el sistema de producción sea continuo y cuando llegue al nivel más prominente en el tanque este control desactivará la bomba. En el caso de la presente tesis este tipo de control fue incluido en la programación del controlador lógico programable (PLC) mediante el software RSLogix 500, asignando un bloque PID, que realiza el control de temperatura.

La interfaz de un sistema de automatización resulta importante para lograr monitorear el proceso en tiempo real, es por ello que Villacrés (2011) elaboro un sistema scada en el software de instrumentación virtual LabVIEW para un sistema de etanol. De forma similar en la presente tesis se diseñó un sistema scada en el software RSLogix 5000 tal como se puede apreciar en la figura 33 y figura 34, para monitorear la destilación de alcohol y proceso de rectificación, respectivamente.

CAPÍTULO VI:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se logró diseñar la parte operativa del sistema de control y automatización, compuesto por los diversos dispositivos que permiten la producción del etanol. Así mismo en la tabla 1, se evidencia el presupuesto estimado para la implementación siendo un total de S/. 13,300 nuevos soles.
- La parte de mando se diseñó empleando el controlador lógico programable de la marca Allen-Bradley, con interfaz de programación RSLOGIX5000. La lógica de control fue de lazo cerrado o también llamado realimentación.
- Con respecto a la interfaz gráfica o SCADA, está elaborada también en el software RSLOGIX5000. En la mencionada interfaz se puede monitorear el proceso de destilación de alcohol y el proceso de rectificación.
- Finalmente se puede concluir que se logró el objetivo general, diseñar un sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera, Andahuasi, 2021. Esto se verificó mediante la correlación de ambas variables, obteniendo un coeficiente de correlación de Pearson resultado de 0,890 lo que significa que si existe una relación significativamente positiva con correlación alta.

6.2. Recomendaciones

- Los dispositivos involucrados en el proceso deben presentar los respectivos estándares de calidad y seguridad. Se recomienda seleccionar marcas conocidas en el mercado como Festo, Siemens, Allen-Bradley, Schneider Electric, etc.
- El controlador lógico programable debe seleccionarse pensando en solucionar el proceso de automatización, así como también que tenga la capacidad de incrementar su funcionamiento a futuro. Para ello revisar la hoja de datos y verificar con cuentas señales analógicas puede trabajar.
- Si se cuenta con un mayor presupuesto es recomendable contratar una licencia y emplear una interfaz gráfica más potente y con una mayor diversidad de funciones como es el software de instrumentación virtual LabVIEW.

REFERENCIAS

7.1. Fuentes bibliográficas

- González et al. (2018). *"Identificación, modelado y control del proceso planta piloto de destilación para producción de alcohol carburante"*. Vicerrectoría de investigaciones. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Llerena, T. R. y Casas, D. E. (2017). *Modelado y Simulación del Sistema de Destilación de la Planta Piloto de Alcohol de la Facultad de Ingeniería Química*. Tesis pre grado. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú.
- Lucero, L. C., Mendoza, E. B., Arrieta, J. M., Lezama, R. F., Moscoso, H. C., & Zúñiga, F. B. (2010). DESARROLLO DE PROTOTIPO “DETERMINADOR DE GRADO ALCOHÓLICO CONTINUO”. *Cultura*, 24(24).
- Navas, S. J. (2014). *Control de Columnas de Destilación*. Tesis pre grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Sevilla, España.
- Rodríguez, M. I (2017). *Desarrollo de un sistema de control predictivo de La temperatura en un reactor de Transesterificación*. Tesis posgrado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Ollero de Castro, P. y Fernández, E. (2012). *Instrumentación y Control de Plantas Químicas*. Síntesis.

7.2. Referencias electrónicas

- Allen-Bradley (2013) Variadores de CA PowerFlex 40.
<https://www.rockwellautomation.com/es-ar/products/hardware/allen-bradley/drives-and-motors/low-voltage-ac-drives/compact-drives/22b-powerflex-40.html>
- Allen-Bradley (2000) SLC500 and MicroLogix 1000 Instruction Set – Reference Manual.
Recuperado de
<https://rockwellautomation.custhelp.com/ci/fattach/get/96539/0/filename/1747-6.15.pdf>

- Akúbica Blanca. (2018, 8 de mayo). a Automatización De Los Procesos; Una Llave Al Éxito. Recuperado de <https://akubica.com/la-automatizacion-de-los-procesos-una-llave-al-exito/>
- Almazán Blanca. (2008, 9 de abril). Automatización y robótica para la producción. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/automatizacion-robotica-produccion/>
- Brunete, A., San Segundo, P. y Herrero, R. (2021) Introducción a la Automatización Industrial. <http://albertobrunete.es/automatica/>
- Chase, R.B. y Jacobs, F. R. (2017) Destilación continua de mosto de melaza fermentado obtención de etanol. <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-simon/logistica-para-operaciones/destilacion-continua-de-mosto-de-melaza-fermentado-obtencion-de-etanol/8858453>
- Cova, W. (2005) Control PID Un enfoque descriptivo. http://www.frlr.utn.edu.ar/archivos/alumnos/electronica/catedras/38-sistemas-de-control-aplicado/Publicaciones/Control_PID_Enfoque_Descriptivo.pdf
- Flowmeet (2003) Principio de funcionamiento de caudalímetros electromagnéticos. <https://www.flowmeet.com/articles/electromagnetic-flowmeters-work-principle>
- Gutiérrez e Iturralde (2017). Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control. <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%20C3%A1sico+d e+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>
- Iza, E. P. (2010). Tesis pregrado. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/447>
- Mateos, F. (2006) Autómatas Programables: Introducción al Estándar IEC-61131. <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Pres%20IEC%2061131.pdf>
- Páez, O. (2009) Nomas ISA. https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14076/mod_resource/content/0/304_Norma_ISA_PID.pdf
- Parra, L. (2012) Microprocesadores. <http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/sistemas/Microprocesadores.pdf>

- Pérez-López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Revista Tecnología En Marcha*, 28(4), pág. 3–14. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2438>
- Rockwell Automación (2020) FactoryTalk View Machine Edition User's Guide. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/view-me-um004_-en-e.pdf
- Tomé, C. (2017, 11 de julio) La primera ley de la termodinámica. <https://culturacientifica.com/2017/07/11/la-primera-ley-la-termodinamica/>
- Vásquez, V. (2005) Ingeniería de Control. <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/notas%20I.pdf>
- Villacrés Guijarro, G. E. (2011). Tesis pregrado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/447>

ANEXOS

ANEXO N° 01
CUESTIONARIO PARA MEDIR LAS VARIABLES: SISTEMA DE
AUTOMATIZACIÓN Y PROCESO DE DESTILACIÓN DE ALCOHOL



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Industrial, Sistema e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



Cuestionario para medir las variables: Sistema de Automatización y Proceso de destilación de alcohol

Presentación: Mi estimado(a), gracias por colaborar con el desarrollo de esta encuesta que tiene como propósito recopilar información sobre el: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA MEJORA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN DE ETANOL EN LA EMPRESA AZUCARERA ANDAHUASI, 2021**

Instrucciones: Le agradeceremos leer correctamente las preguntas y marcar con un aspa (X) la opción que más considere. Imploro sea respondido con responsabilidad y honestidad.

Esta es una encuesta de carácter anónimo, de alta confidencialidad y de uso exclusivo para esta investigación.

Considere sus respuestas de acuerdo a la siguiente escala valorativa:

Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
1	2	3	4	5

Cuestionario tipo escala *Likert*:

Variable: Sistema de Automatización		Calificación				
	Dimensión 1: Parte operativa	1	2	3	4	5
1	Los tanques realizarán el proceso de forma correcta.					
2	Las electroválvulas se ejecutarán de forma coordinada.					
3	Los sensores enviarán las señales correctamente.					
	Dimensión 2: Parte de mando					
4	El controlador lógico programable operará correctamente.					
5	La programación en el PLC agilizará el proceso de producción					
6	El PLC recepcionará las señales analógicas de forma eficiente.					
	Dimensión 3: Interfaz gráfica					
7	Los datos de los tanques se visualizarán en el sistema SCADA.					
8	La interfaz gráfica contará con un sistema de control.					
9	La interfaz HMI se ejecutará en tiempo real.					
	Variable (Y): Proceso de destilación de alcohol					

✕	Dimensión 1: Producción de alcohol de primera					
10	Aumentará la cantidad de producción en el tanque 1					
11	Aumentará la cantidad de producción en el tanque 2					
12	Aumentará la cantidad de producción en el tanque 3					
13	Aumentará la cantidad de producción en el tanque 4					
✕	Dimensión 2: Producción de alcohol de segunda					
14	Aumentará la cantidad de producción en el tanque mediano					
15	Aumentará la cantidad de producción en el tanque chico					
16	Aumentará la cantidad de producción en el tanque grande					
17	Aumentará la cantidad de producción en el tanque cilindro					

¡Gracias por su sincera colaboración !

ANEXO N° 02
Matriz de consistencia

Cuadro 2.

Matriz de Consistencia: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA MEJORA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN DE ETANOL EN LA EMPRESA AZUCARERA ANDAHUASI, 2021”

PROBLEMA	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>Problema general ¿Cómo diseñar un sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?</p> <p>Problemas específicos ¿Cómo diseñar la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?</p> <p>¿Cómo diseñar la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?</p> <p>¿Cómo diseñar la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021?</p>	<p>Objetivo general Diseñar un Sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.</p> <p>Objetivos específicos Diseñar la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.</p> <p>Diseñar la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.</p> <p>Diseñar la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.</p>	<p>La presente investigación se justifica en la necesidad de contar con sistema automatizado de destilación de alcohol para así poder aprovechar en mejor medida la materia prima que se procesa. Aumentar los beneficios, reducir costo, optimizar el sistema</p>	<p>Hipótesis general Se diseño el Sistema de automatización para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021</p> <p>Hipótesis específicas Se diseño la parte operativa para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.</p> <p>Se diseñó la parte de mando para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021</p> <p>Se diseñó la interfaz gráfica para mejorar el proceso de destilación de etanol en la empresa azucarera Andahuasi, 2021.</p>	<p>Variable 1: Sistema de automatización</p> <p>Variable 2: Proceso de destilación de etanol</p>	<p>Tanques Motores Sensores Controlador lógico programable Interfaz Hombre – Máquina Programación PLC</p> <p>Cantidad del tanque 1 Cantidad del tanque 2 Cantidad del tanque 3 Cantidad del tanque 4 Cantidad del tanque mediano Cantidad del tanque chico Cantidad del tanque grande Cantidad del tanque cilindro</p>

ANEXO N° 03

INSTRUCCIONES GENERALES DE CONTROLADORES LOGIX 5000

Las instrucciones matemáticas de los controladores lógicos programables, Todas las combinaciones posibles de las condiciones pueden ser representadas en una tabla, la cual se conoce como Tabla de Verdad, en la siguiente figura veremos algunas lógicas matemáticas.

Operación	Descripción	Ecuación	Símbolo Tradicional	Símbolo ANSI/IEEE	Tabla de verdad															
OR (O o +)	Para que el resultado sea verdadero, es necesario que cualquier entrada sea verdadera.	$Y = A + B$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Output	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	Output																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		
AND (Y o x)	Para que el resultado sea verdadero, es necesario que todas las entradas sean verdaderas.	$Y = A \times B$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Input A</th> <th>Input B</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Input A	Input B	Output	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
Input A	Input B	Output																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
NOT (no)	Para que el resultado sea 1, es necesario que toda la entrada sea 0.	$Y = \bar{A}$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Input</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Input	Output	0	1	1	0									
Input	Output																			
0	1																			
1	0																			
NOR (O negada)	Para que el resultado sea verdadero, es invertido de la operación OR.	$Y = \overline{A + B}$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Output	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	Output																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	0																		
NAND (Y negada)	Para que el resultado sea verdadero, es invertido de la operación Y.	$Y = A \times B$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Output	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Output																		
0	0	1																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
XOR (O exclusiva)	Combinación de las operaciones AND, OR y NOT: la salida será verdadera si las entradas son diferentes.	$Y = A \oplus B$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Output	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Output																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		
XOR (O exclusiva invertida)	Combinación de las operaciones AND, OR y NOT: la salida será verdadera si las entradas son diferentes.	$Y = A \oplus B$			<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Output</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Output	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Output																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		

Funciones matemáticas Las instrucciones de cálculo/matemáticas evalúan las operaciones aritméticas usando una expresión o una instrucción aritmética específica. Instrucciones disponibles

Diagrama de escalera

CPT	ADD	SUB	MUL	DIV	MOD	SQR	SQRT	NEG	ABS
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----

Diagrama de bloque de funciones

Bloque FBD

ADD	SUB	MUL	DIV	MOD	SQR	SQRT	NEG	ABS
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----

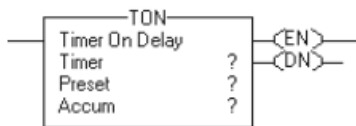
Función FBD

$+_f$	\times_f	\div_f	$\%_f$	\sqrt{x}_f	$-x_f$	$ x _f$
ADD	425	DIV	MOD	SQR/SQRT/	413	ABS

Texto estructurado

SQR	SQRT	ABS
-----	------	-----

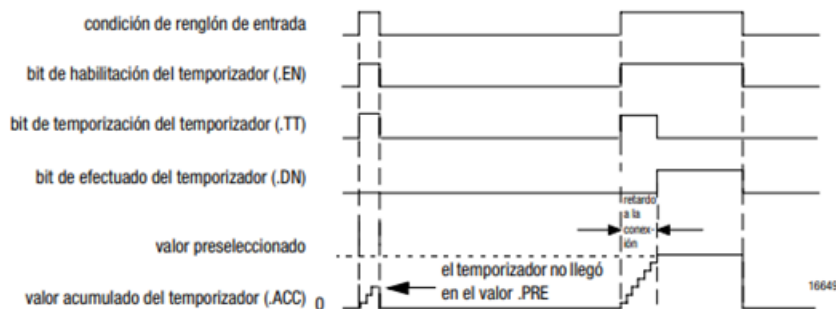
A Estructura TIMER TON:



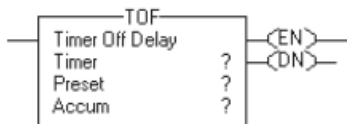
Mnemónico:	Tipo de datos:	Descripción:
.EN	BOOL	El bit de habilitación indica que la instrucción TON está habilitada.
.TT	BOOL	El bit de temporización indica que hay una operación de temporización en progreso.
.DN	BOOL	El bit de efectuado se establece cuando $.ACC \geq .PRE$.
.PRE	DINT	El valor preseleccionado especifica el valor (unidades de 1 mseg) que el acumulador debe alcanzar antes de que la instrucción establezca el bit .DN.
.ACC	DINT	El valor acumulado especifica el número de milisegundos que han transcurrido desde la habilitación de la instrucción TON.

Descripción: La instrucción TON es un temporizador no retentivo que acumula el tiempo cuando la instrucción está habilitada (la condición de entrada de renglón es verdadera). La base de tiempo siempre es 1 mseg. Por ejemplo, para un temporizador de 2 segundos, introduzca 2000 para el valor .PRE. Una vez habilitada, la instrucción TON acumula el tiempo hasta que:

- la instrucción TON se inhabilita
- el. $ACC \geq PRE$ Cuando la instrucción TON está inhabilitada, el valor. ACC se restablece.



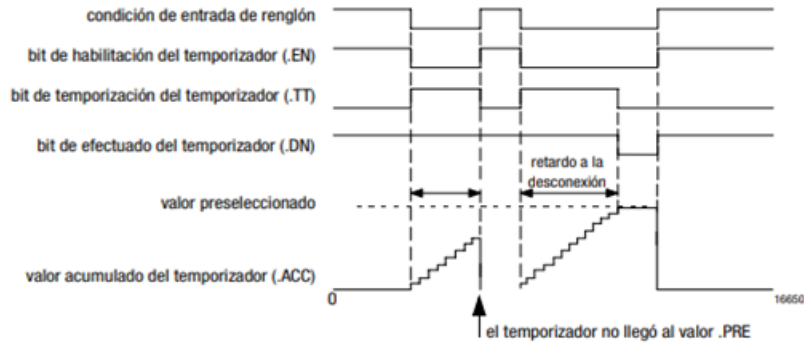
Estructura TIMER TOF:



Descripción: La instrucción TOF es un temporizador no retentivo que acumula el tiempo cuando la instrucción está habilitada (la condición de entrada de renglón es falsa). La base de tiempo siempre es 1 mseg. Por ejemplo, para un temporizador de 2 segundos, introduzca 2000 para el valor PRE. Una vez habilitada, la instrucción TOF acumula el tiempo hasta que:

- la instrucción TOF se inhabilita.

- el. $ACC \geq PRE$ Cuando la instrucción TOF está inhabilitada, el valor.
- ACC se restablece.



C estructura COUNTER



Mnemónico:	Tipo de datos:	Descripción:
.CU	BOOL	El bit de habilitación de conteo progresivo indica que la instrucción CTU está habilitada.
.DN	BOOL	El bit de efectuado indica que $.ACC \geq .PRE$.
.OV	BOOL	El bit de overflow indica que el contador excedió el límite superior de 2,147,483,647. El contador llega a -2,147,483,648 y retorna al valor inicial.
.UN	BOOL	El bit de underflow indica que el contador excedió el límite superior de -2,147,483,648. El contador llega a 2,147,483,647 y vuelve a contar regresivamente.
.PRE	DINT	El valor preseleccionado especifica el valor al cual acumulador debe llegar antes de que la instrucción establezca el bit .DN.
.ACC	DINT	El valor acumulado especifica el número de transiciones que la instrucción ha contado.

La instrucción CTU cuenta progresivamente. Una vez habilitada y cuando el bit .CU está restablecido, la instrucción CTU incrementa el contador por uno. Una vez habilitada y el bit .CU está establecido, o una vez inhabilitada, la instrucción CTU retiene su valor. ACC.

