



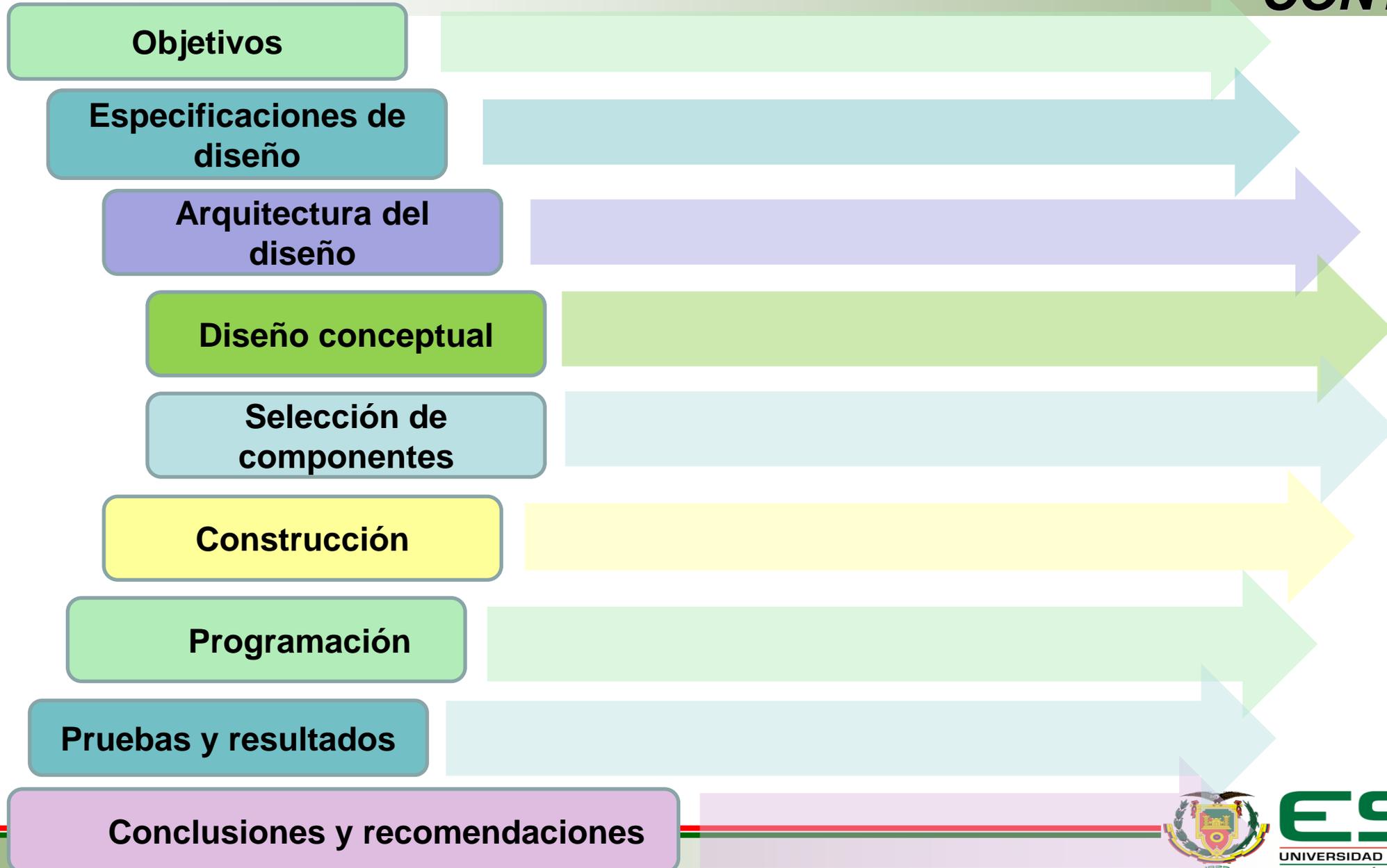
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

- **TEMA:** Diseño e implementación de un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del Ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°

AUTORES: RAMÓN ARMIJOS LEONARDO MAURICIO,
YANCHAPAXI CHICAIZA DIEGO RAMÓN
DIRECTOR: ING. GORDÓN GARCÉS ANDRÉS MARCELO

LATACUNGA, 2023





Diseñar e implementar un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Investigar el estado del arte enfocado en el proceso de destilación de alcohol a partir del jugo de la caña de azúcar y la factibilidad de convertir este proceso en un proceso automático.



Diseñar la automatización del prototipo de automatización del proceso de destilación de alcohol en una torre rectificadora.



Construir el diseño propuesto e implementar las características y mejoras deseadas en el diseño base



Validar el funcionamiento del prototipo en base a las necesidades planteadas.



Alcohol etílico o Etanol



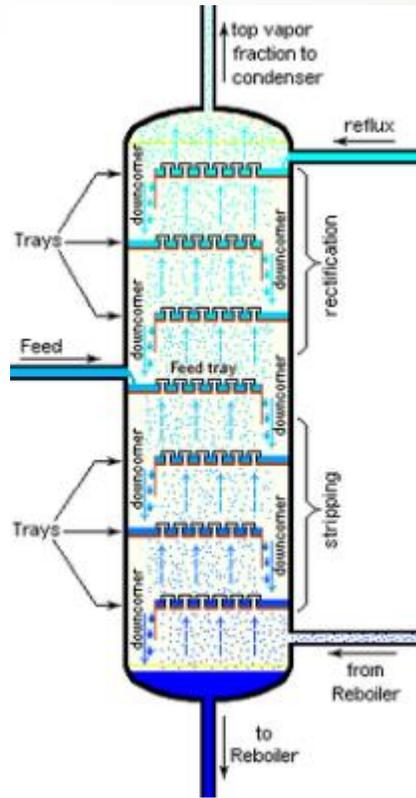
Proceso elaboración de etanol

¿Qué es el alcohol?

Industria alcoholera del Ecuador



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Columnas de destilación

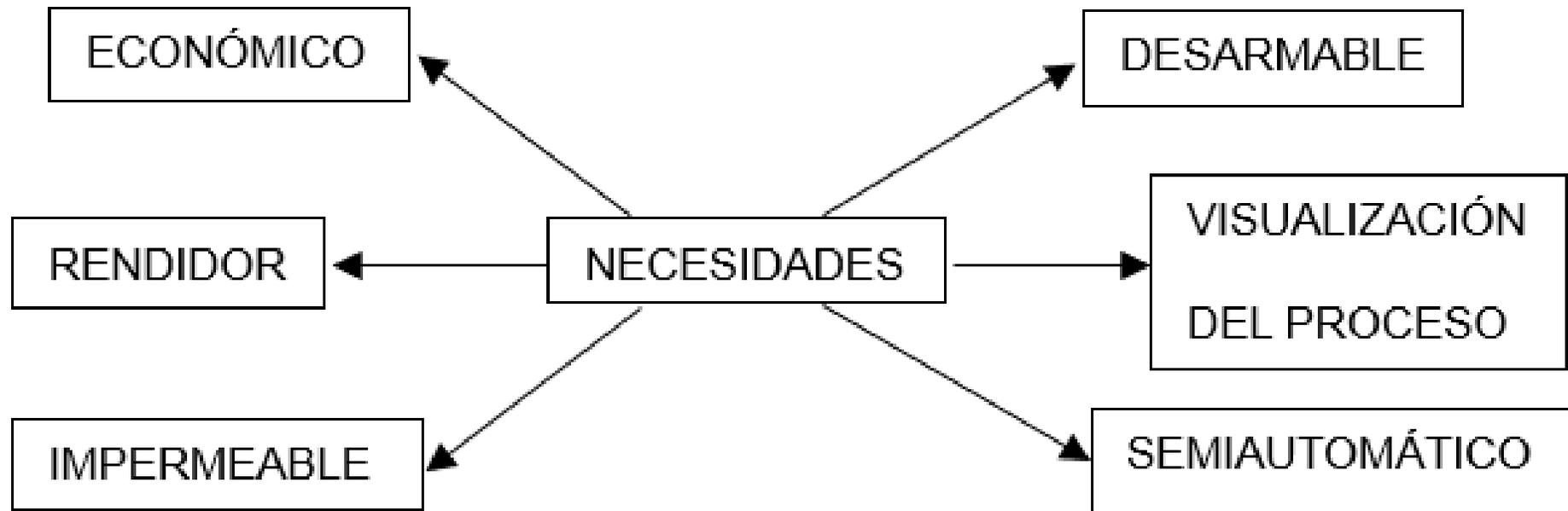


PLC

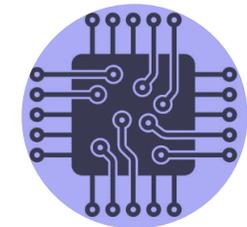
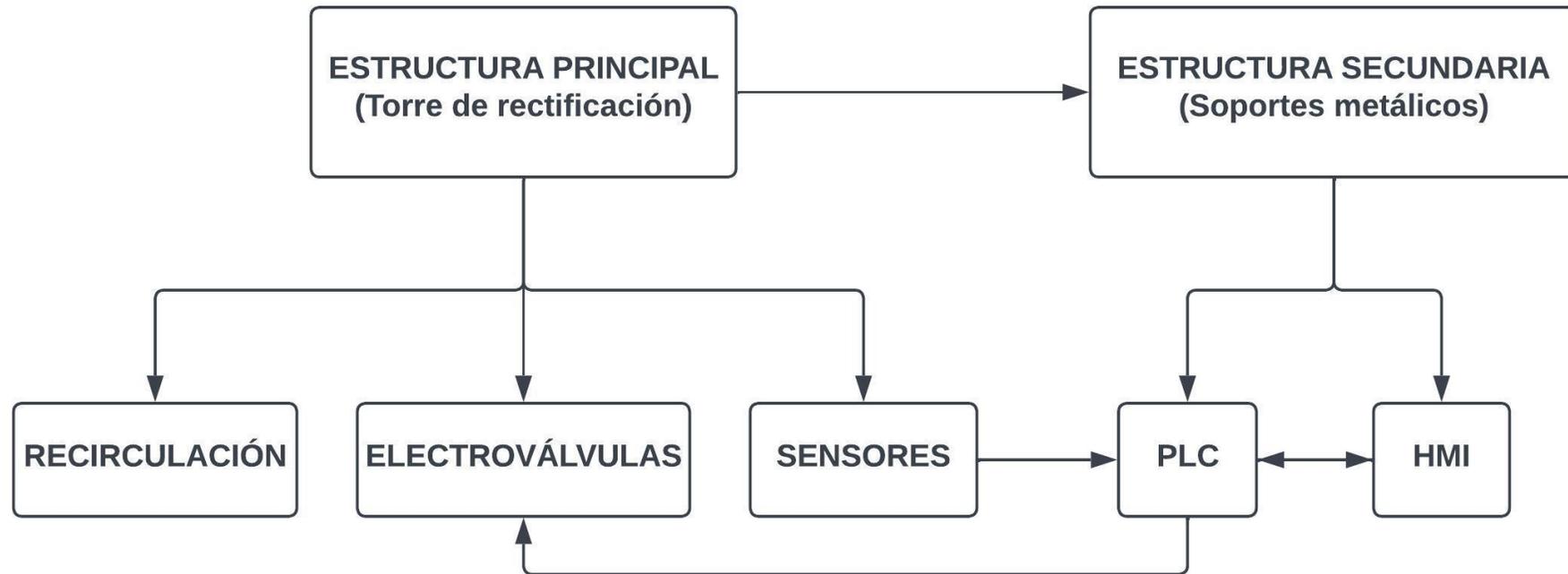


Interfaz Humano Máquina

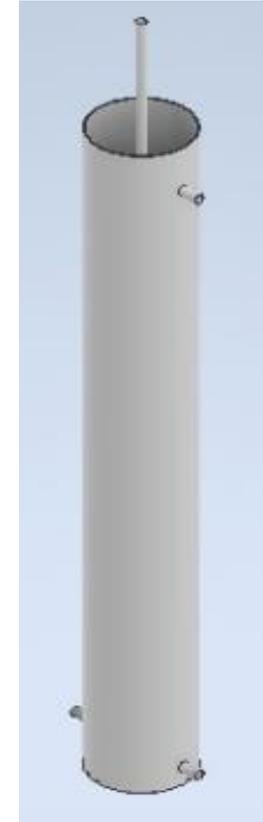
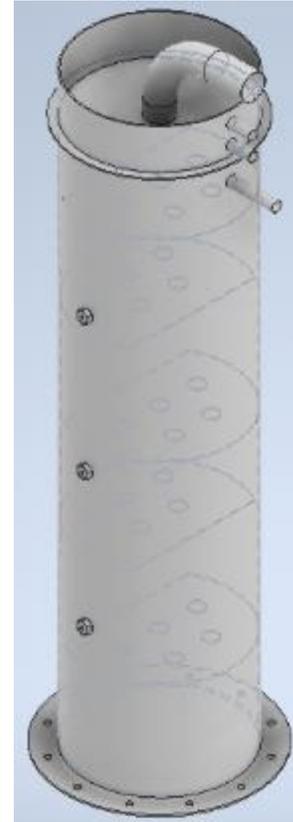
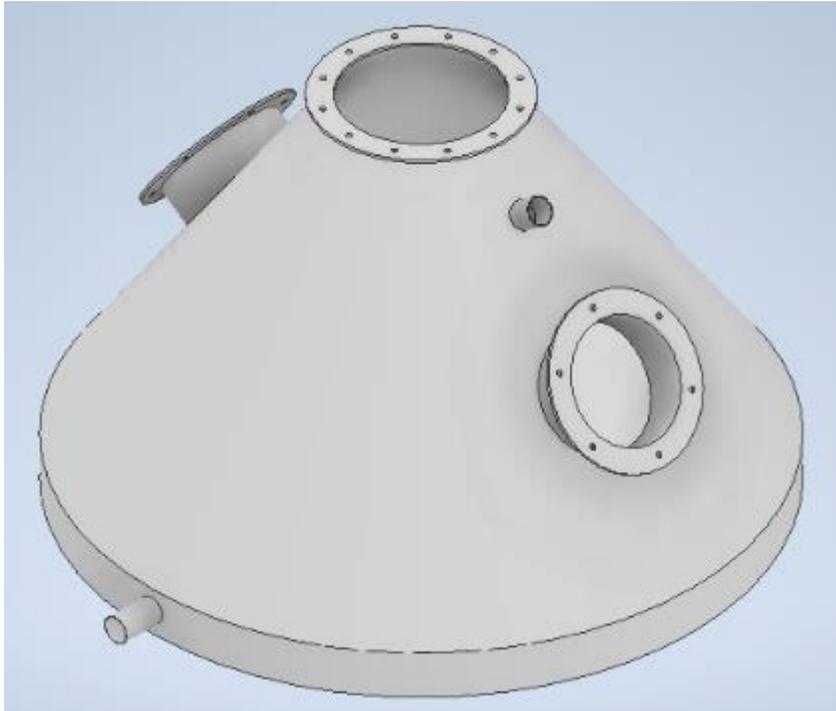
Voz de usuario



Arquitectura de diseño del prototipo



Diseño CAD de la estructura de la torre



Características sistema de destilación

| Características sistema de destilación | |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Costo | Medio |
| Materiales de construcción | Láminas de acero inoxidable |
| | Tubos de acero inoxidable |
| | Codos de acero inoxidable |
| | Empaques térmicos |
| Elementos necesarios para funcionamiento | Válvulas manuales |
| | Acoples universales |
| | Neplos de acero inoxidable |
| Alimentación | Fermento |
| | Vapor |
| Consumo eléctrico | Nulo |
| Plan de mantenimiento | Mantenimiento correctivo en caso de presentar fugas en las uniones |



Características de material de grado alimenticio

| | AISI 304 (Serie 300) | AISI 316 (Serie 300) |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Composición química | 18% Cr, 8% Ni | 16-18% Cr, 10-14% Ni, 2% Mo |
| Resistencia a la corrosión | Buena resistencia en ambientes moderadamente corrosivos y oxidantes | Excelente resistencia en ambientes corrosivos y expuestos a cloruros |
| Tolerancia al calor | Buena hasta 870°C (1600°F) | Buena hasta 925°C (1700°F) |
| Resistencia al desgaste | Moderada | Mayor resistencia debido al molibdeno |
| Aplicaciones comunes | Equipos de cocina, aplicaciones arquitectónicas, equipo médico | Equipos marinos, industria química, farmacéutica y procesamiento de alimentos |
| Resistencia a la corrosión bajo tensión | Buena | Excelente debido al contenido de molibdeno |
| Soldabilidad | Excelente | Excelente |
| Formalidad | Buena | Buena |
| Limpieza y mantenimiento | Fácil | Fácil |
| Precio relativo | Menos costoso que AISI 316 | Generalmente más costoso que AISI 304 |

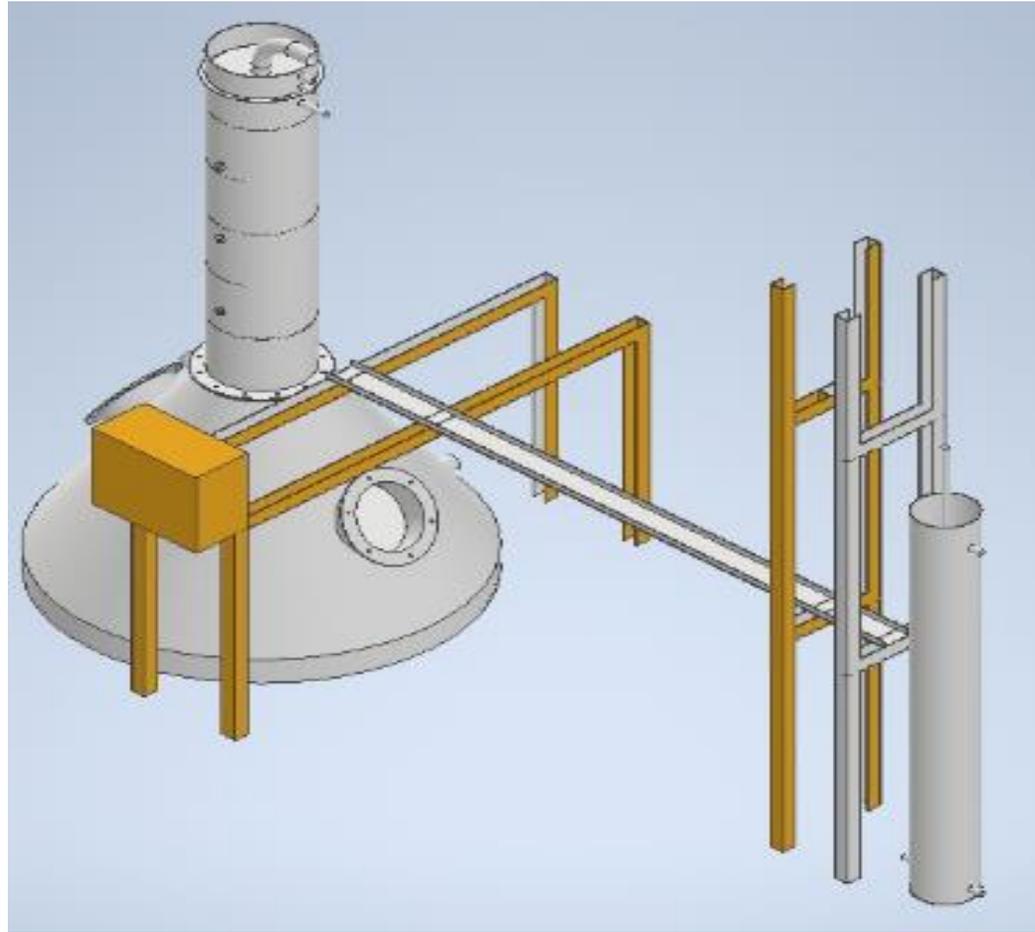


Características de soldadura TIG y MIG

| Aspecto | Proceso TIG (GTAW) | Proceso MIG (GMAW) |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Control de calor | Control preciso de la temperatura y energía de soldadura | Menor control de la temperatura; más propenso al sobrecalentamiento |
| Calidad del acabado | Alta calidad de la soldadura; cordones limpios | Calidad variable dependiendo de la habilidad del soldador |
| Penetración | Penetración profunda posible | Penetración más superficial |
| Gas de protección | Gas inerte (como argón) | Mezcla de gases inertes y activos |
| Contaminación del metal | Mínima contaminación debido a gas inerte | Posible contaminación debido a gases activos |
| Habilidad requerida | Mayor habilidad y experiencia requeridas | Menor habilidad requerida, pero aún se requiere cierta destreza |
| Aplicaciones críticas | Ideal para aplicaciones donde la calidad es crucial | Adecuado para aplicaciones menos críticas |
| Velocidad de soldadura | Generalmente más lento | Generalmente más rápido |
| Espesor del material | Adecuado para una amplia gama de espesores | Generalmente mejor para materiales más gruesos |
| Equipamiento requerido | Más sofisticado (antorchas TIG, fuente de alimentación) | Menos sofisticado (antorchas MIG, fuente de alimentación) |
| Costo de equipo y consumibles | Generalmente más alto | Generalmente más bajo |



Diseño CAD del sistema estructural de cableado y control



Características sistema estructural para cableado y control

| Características sistema estructural de cableado y control | |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Costo | Barato |
| Materiales de construcción | Perfiles en C de aluminio |
| | Caja de control |
| | Pernos para sujeción al suelo |
| Elementos necesarios para funcionamiento | Cables de electroválvulas |
| | Cables para RTD |
| | PLC |
| | HMI |
| | Regulador de voltaje |
| | Fuente de alimentación |
| Alimentación | 110V AC |
| Consumo eléctrico | Bajo |
| Plan de mantenimiento | Mantenimiento Correctivo en caso de presentar fallos |



SELECCIÓN DE COMPONENTES

Especificaciones del sensor de temperatura

| Tipo de Sensor | Rango de Temperatura | Precisión | Respuesta | Ventajas | Desventajas |
|-------------------|----------------------|-----------|-----------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| RTD PT100 | -200°C a +850°C | Alta | Lenta | Alta precisión, linealidad y estabilidad | Costo comparativamente más alto |
| Termopar (Tipo K) | 200°C a +1260°C | Buena | Rápida | Amplio rango, respuesta rápida, versatilidad | Precisión puede verse afectada por interferencias |
| Termistor (NTC) | -50°C a +150°C | Buena | Rápida | Económico, tamaño compacto, respuesta rápida | No es lineal, requerirá calibración |
| Termistor (PTC) | -50°C a +150°C | Buena | Rápida | Cambio abrupto de resistencia a temperatura | No es lineal, requerirá calibración |

SELECCIÓN DE COMPONENTES

| Características | Válvula de Globo | Válvula de Compuerta | Válvula Mariposa |
|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Tipo de Válvula | Lineal | De disco | Rotativa |
| Control de Flujo | Excelente | Limitado | Bueno |
| Pérdida de Presión | Moderada | Baja | Baja |
| Cierre Hermético | Sí | No | No |
| Respuesta Rápida | Sí | No | Sí |
| Tamaño de Paso | Reducido | Amplio | Amplio |
| Aplicaciones | Control de flujo preciso, regulación | Aplicaciones de encendido/apagado, aislamiento | Control de flujo, aplicaciones de encendido/apagado |
| Material de Construcción | Diversos materiales disponibles | Diversos materiales disponibles | Diversos materiales disponibles |
| Clasificación de Presión | Generalmente alta | Variada | Variada |
| Automatización | Posible | Posible | Posible |
| Mantenimiento | Puede ser más complicado | Generalmente sencillo | Generalmente sencillo |
| Costo | Moderado | Moderado | Bajo a moderado |

Condiciones necesarias de trabajo para válvulas solenoides

| N° de posiciones | Infinitas |
|------------------|---------------|
| Alimentación | 24DC-110AC |
| Señal de control | 4-2 mA +-10V |
| Presión Max | 150 bar |
| Tamaño | ¾ o 1 pulgada |



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SELECCIÓN DE COMPONENTES

Selección de componentes para la estructura de soporte de cableado y control



Perfil en G



Gabinete para tablero eléctrico



Manguera anillada

Selección de componentes para sistema de control



PLC LOGO 230 RCE



Módulo AM2 RTD



HMI Kinco GL070e



RTD



Válvulas solenoides para vapor

CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE DESTILACIÓN

Construcción de la olla



CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE DESTILACIÓN

Construcción de la torre de rectificación



CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE DESTILACIÓN

Construcción del condensador



CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE SOPORTE

Construcción de la estructura de soporte



INSTALACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

Sensores



INSTALACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

Actuadores



INSTALACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

Caja de control



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

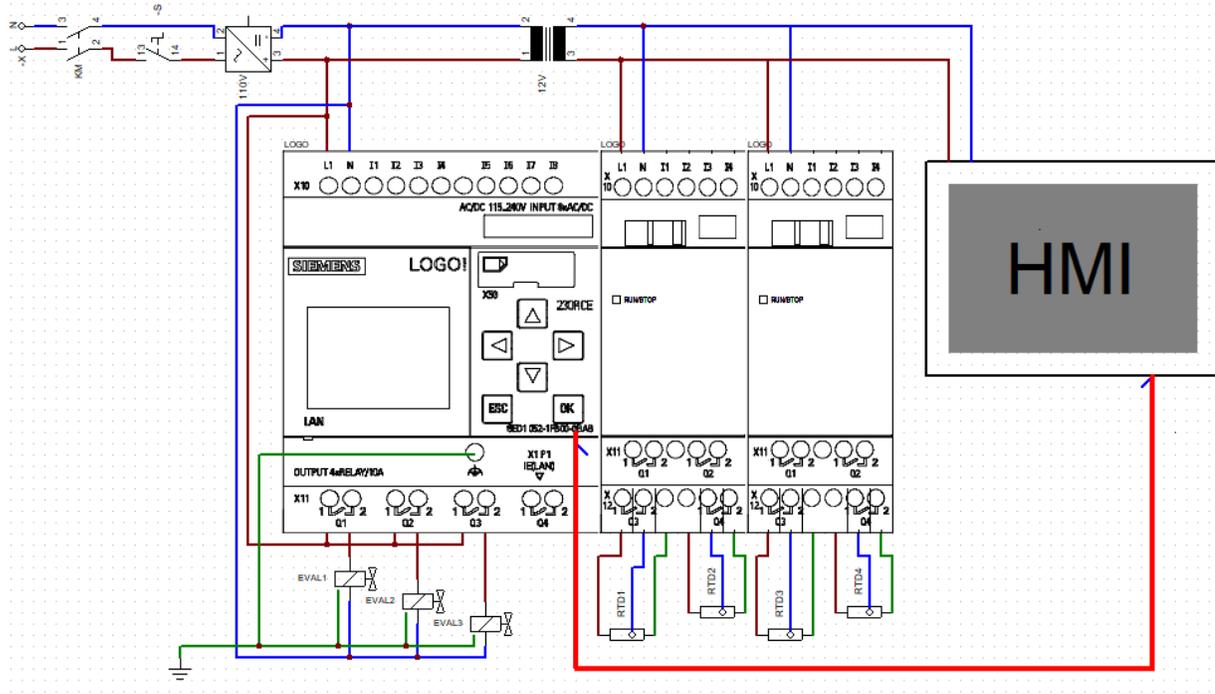
Ensamble final del prototipo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DE MÓDULOS DE CIRCUITO DE CONTROL

Diseño de la caja de control



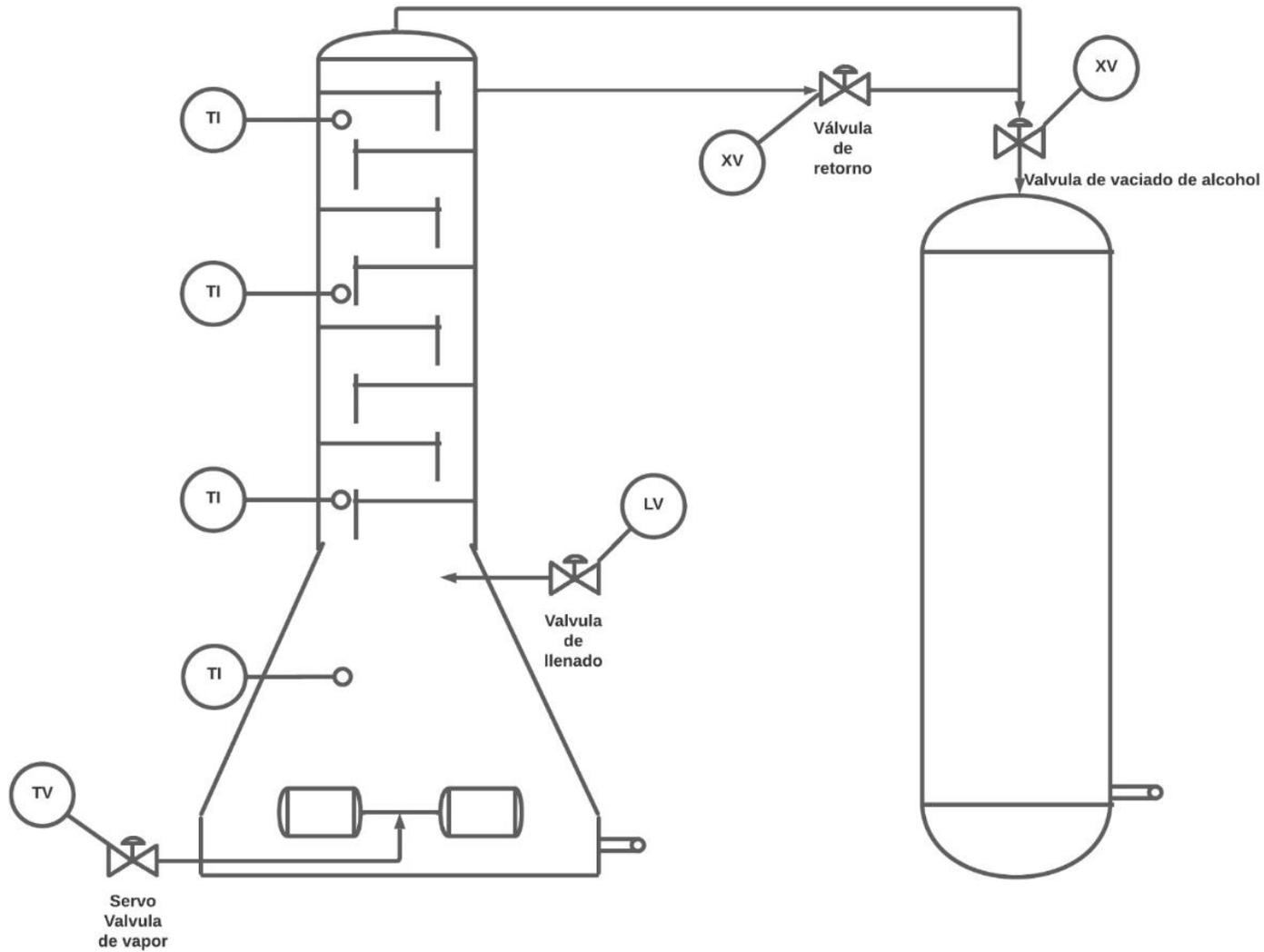
Circuito electrónico



Implementación



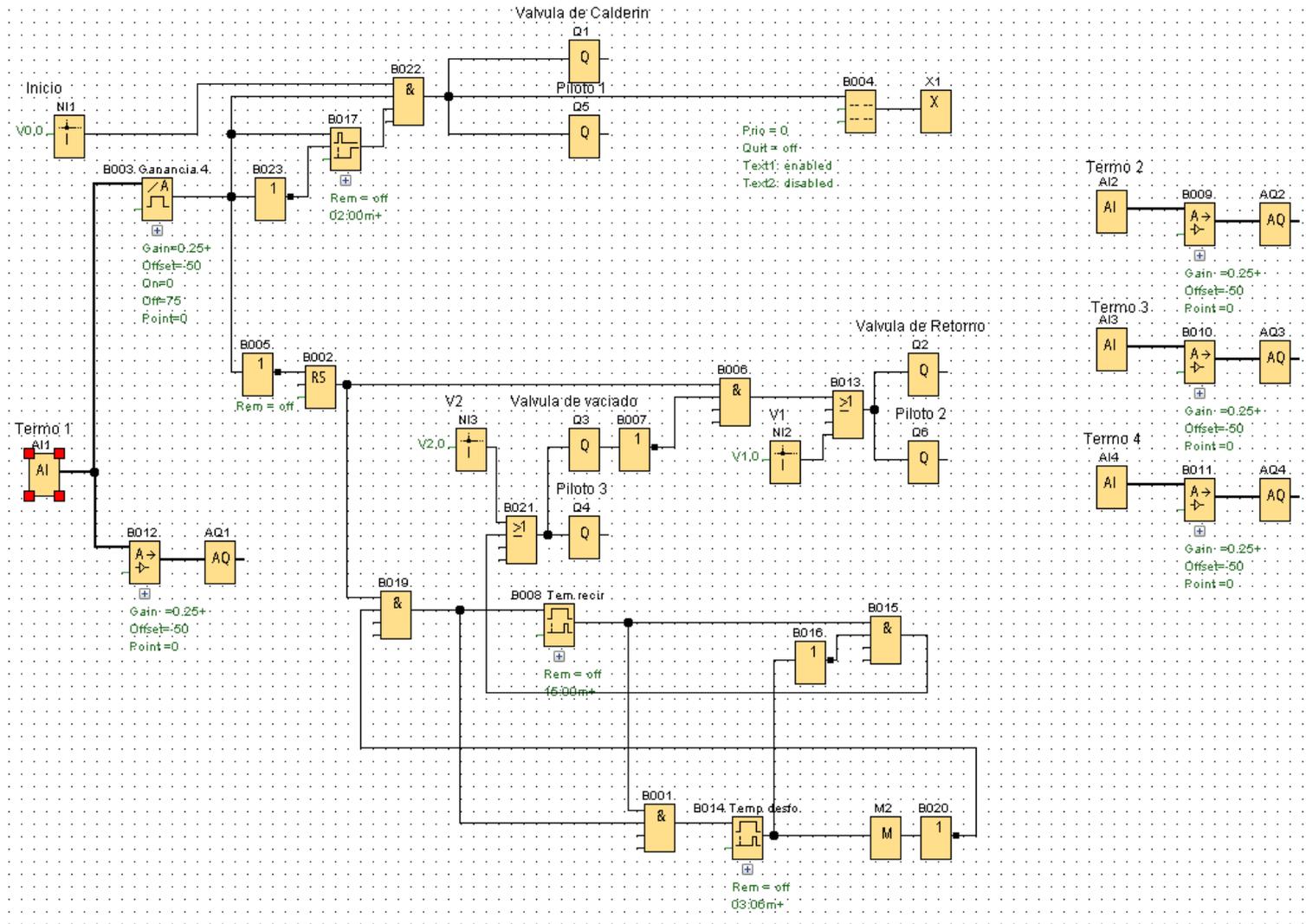
DIAGRAMA P&ID del prototipo



| SIMBOLO | SIGNIFICADO |
|---------|-------------------------------------|
| XV | Válvula de paso para vapor |
| TI | Indicador de temperatura |
| TV | Válvula para control de temperatura |
| LV | Válvula para el control de nivel |



Programa de control en LOGO!Soft



Entradas y salidas del proceso

| Entradas | | |
|----------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Denominación | Dirección | Descripción |
| Termo 1 | AI1 | Entrada análoga del sensor PT100 ubicado a nivel de la olla |
| Termo 2 | AI2 | Entrada análoga del sensor PT100 ubicado al nivel inferior de la torre de destilación |
| Termo 3 | AI3 | Entrada análoga del sensor PT100 ubicado al nivel intermedio de la torre de destilación |
| Termo 4 | AI4 | Entrada análoga del sensor PT100 ubicado al nivel superior de la torre de destilación |
| Inicio | NI1 | Entrada de red, señal digital que viene desde el botón de inicio del HMI que inicia el sistema |
| V1 | NI2 | Entrada de red, señal digital que viene desde el botón de inicio del HMI que abre la válvula de retorno |
| V2 | NI3 | Entrada de red, señal digital que viene desde el botón de inicio del HMI que abre la válvula de vaciado |

| Salida | | |
|----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Denominación | Dirección | Descripción |
| Válvula de calderín | Q1 | Salida digital que activara la servoválvula del calderín |
| Válvula de retorno | Q2 | Salida digital que activara la servoválvula que controla el flujo de retorno |
| Válvula de vaciado | Q3 | Salida digital que activara la servoválvula que controla el vaciado del alcohol |
| Piloto 1 | Q5 | Salida digital que activara un piloto dentro del HMI |
| Piloto 2 | Q6 | Salida digital que activara un piloto dentro del HMI |
| Piloto 3 | Q44 | Salida digital que activara un piloto dentro del HMI |



Control

Historicos

El siguiente proceso consta de una función automática y una función manual en caso de ser necesaria

Función automática

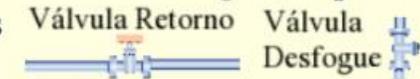
Para iniciar la función automática, damos click en el botón , entonces se abrirá la válvula del calderín con su respectivo piloto. Esto continuará hasta que la temperatura en la parte más alta de la torre alcance un punto óptimo.

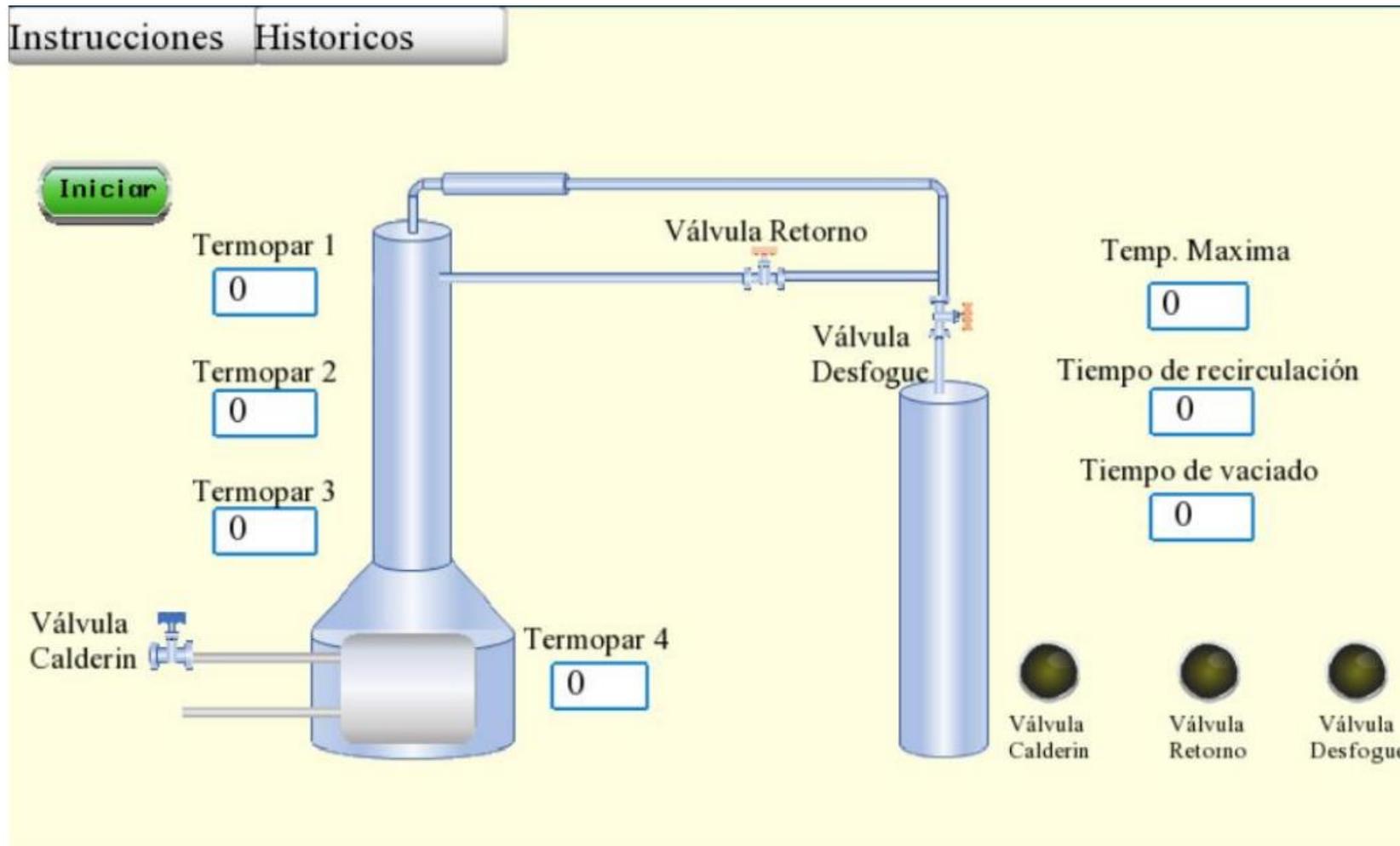
Una vez alcanzado el punto óptimo de temperatura el alcohol empezará a evaporarse y el ciclo de recirculación iniciará, para esto la válvula de desfogue se cerrará y la válvula de retorno se abrirá durante un tiempo determinado con anterioridad.

Finalmente la válvula de desfogue se abrirá y el alcohol que se ha concentrado en el proceso de destilación se vaciará para ser condensado

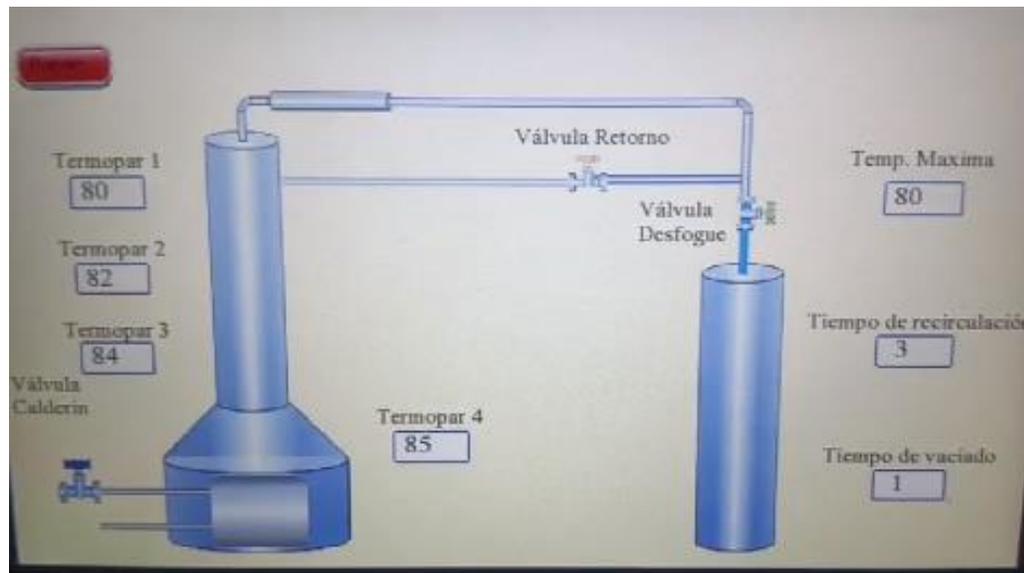
Función manual

En cualquier punto del proceso si fuera necesario abrir la válvula de retorno o desfogue, se podrá activar la señal de apertura dando click en los iconos de las válvulas

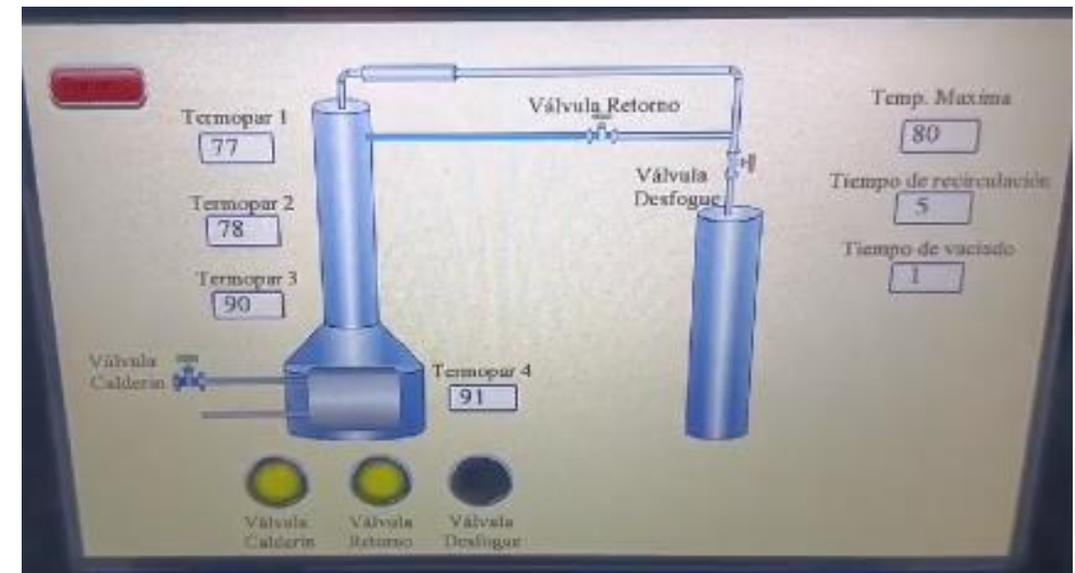




Pruebas del HMI

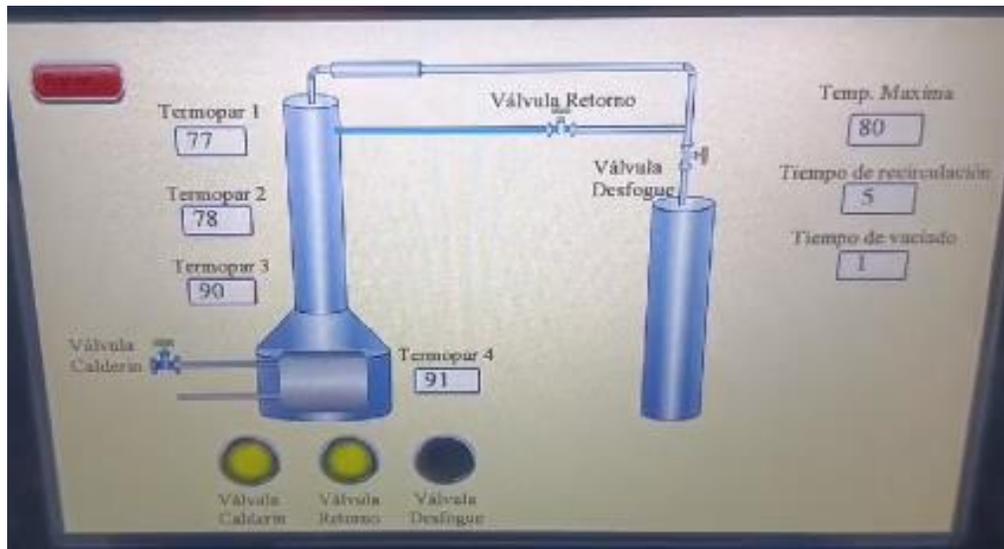


Primera prueba del HMI



HMI rediseñado

Pruebas de control de temperatura



Control de temperatura

Obtención de alcohol

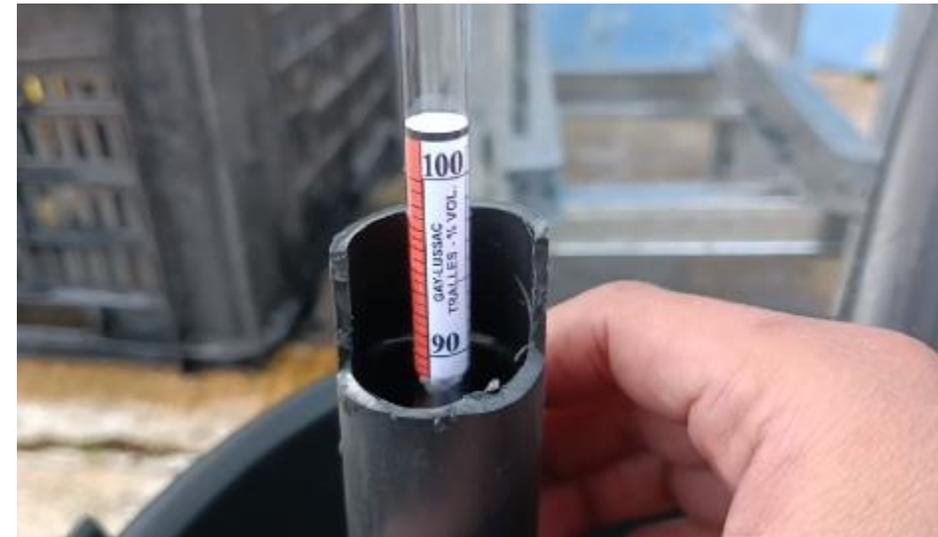


HMI rediseñado

Medición de grado de concentración de alcohol



Primera prueba con recirculación



Prueba final con recirculación

Medición de grado de concentración de alcohol

| SENSOR DE TEMPERATURA RTD 1 (°C) | RETROALIMENTACIÓN | CONCENTRACIÓN (%) |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| 78 | No | 70 |
| 80 | No | 74 |
| 85 | No | 76 |
| 78 | Si | 85 |
| 80 | Si | 88 |
| 85 | Si | 89 |



Cálculo consumo eléctrico

| ELEMENTO | CANTIDAD | CONSUMO (W) |
|-----------------|----------|-------------|
| PLC | 1 | 2.5 |
| HMI | 1 | 3.6 |
| Módulo RTD | 2 | 4,6 |
| Electroválvulas | 2 | 0.55 |
| Solenoides | 1 | 8 |
| TOTAL | | 24.4 |

*Consumo por Ciclo de Trabajo = Potencia Consumida * Tiempo de Trabajo*

*Costo Operativo = Consumo por Ciclo * Costo Energía Eléctrica*

*Consumo por Ciclo de Trabajo = 24.4 W * 6 horas*

*Costo Operativo = 146.4 W * \$0.057*

Consumo por Ciclo de Trabajo = 146.4 $\frac{W}{hora}$

Costo Operativo = \$0.0083448



Hipótesis

¿El prototipo de destilación de alcohol con control automatizado permitirá producir alcohol con una concentración mínima de 80° en la empresa Alcoholes del Ecuador, en la provincia de Cotopaxi?

Concentración de alcohol: 80°

$H_0: u < 80^\circ$

$H_a: u \geq 80^\circ$



| SENSOR DE TEMPERATURA | CONCENTRACIÓN (%) |
|-----------------------|-------------------|
| RTD 1 (°C) | |
| 78 | 85 |
| 80 | 88 |
| 85 | 89 |

El porcentaje de confiabilidad a usarse es el 95%.

El número de muestras serán $n = 3$

$$GL = n - 1$$

$$GL = 3 - 1$$

$$GL = 2$$



PRUEBA DE HIPÓTESIS

| x | $x - \bar{x}$ | $(x - \bar{x})^2$ |
|-----|---------------|-------------------|
| 85 | -2.333 | 5.4428 |
| 88 | 0.667 | 0.4448 |
| 89 | 1.667 | 2.7788 |
| | Σ | 8.6664 |

$$\bar{x} = 87.333$$

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{8.6664}{3 - 1}}$$

$$S = 2.0816$$



A partir de estos datos relacionamos los grados de libertad que son $GDL=2$ con el nivel de significación de 5% en la tabla T de Student.

El valor correspondiente es de 2.9200.

m: es la media poblacional que se refiere al grado de concentración habitual del alcohol proveniente de H_0 .

m = 80° de alcohol

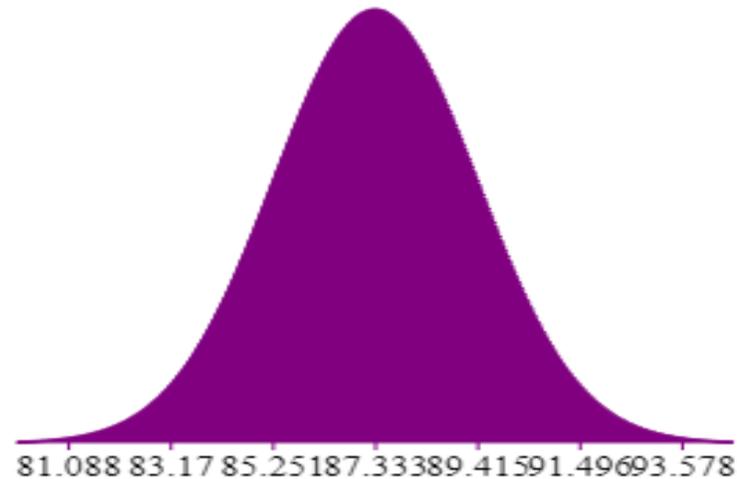
$$tc = \frac{\bar{x} - m}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$tc = \frac{87.333 - 80}{\frac{2.0816}{\sqrt{3}}}$$

$$tc = 6.1016$$



Campana de distribución normal de la hipótesis



En términos más simples, los resultados del análisis sugieren que con un nivel de significación del 5%, la retroalimentación incrementa notablemente el nivel de concentración de alcohol en comparación con el valor habitual de 80°. En otras palabras, los datos indican que la retroalimentación tiene un efecto positivo en la concentración de alcohol.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA