DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN MECATRÓNICA

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA CONTROL DE NIVEL Y CAUDAL EN DOS TANQUES PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE"

AUTORES: MARTÍNEZ CHIRIBOGA GABRIELA PAULINA
OCHOA SALINAS ANDREA CATHERINE

DIRECTOR: ING. GÓMEZ REYES ALEJANDRO PAÚL MSC.

2023

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño
- Integración y Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones

Antecedentes

Introducción

Diseño

Integración y

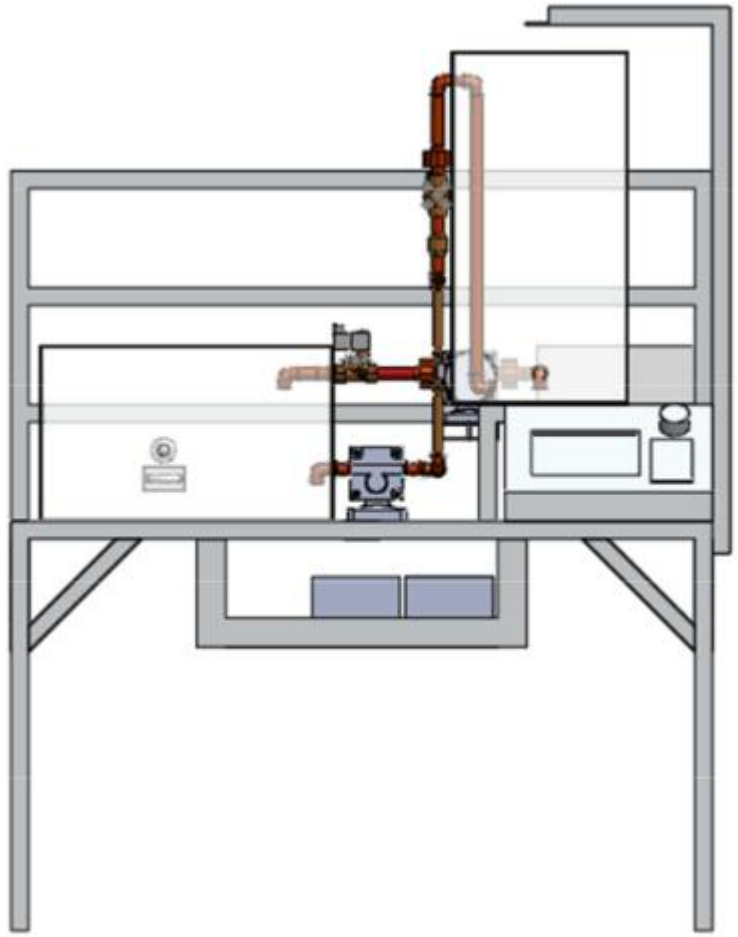
Resultados

Conclusiones y

Recomendaciones

- Equipo Festo MPS - PA

- Trabajos realizados



Justificación e Importancia

Emular proceso de control de flujo y nivel de líquidos

Medio de enseñanza en Laboratorio

Objetivos

GENERAL

- Diseñar y construir un sistema modular didáctico para regular el nivel y caudal de agua entre dos depósitos para la realización de prácticas en el Laboratorio de Automatización e Instrumentación Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar los sistemas: mecánico, eléctrico y electrónico mediante técnicas de ingeniería junto el apoyo de software de diseño.
- Dimensionar y seleccionar los distintos sensores (nivel y caudal), actuadores (bomba y válvulas) y elementos de control necesarios para la estación.
- Implementar una interfaz que le permita al usuario modificar parámetros y visualizar el comportamiento del sistema.
- Realizar el manual del usuario y validar el funcionamiento del módulo didáctico.

Introducción

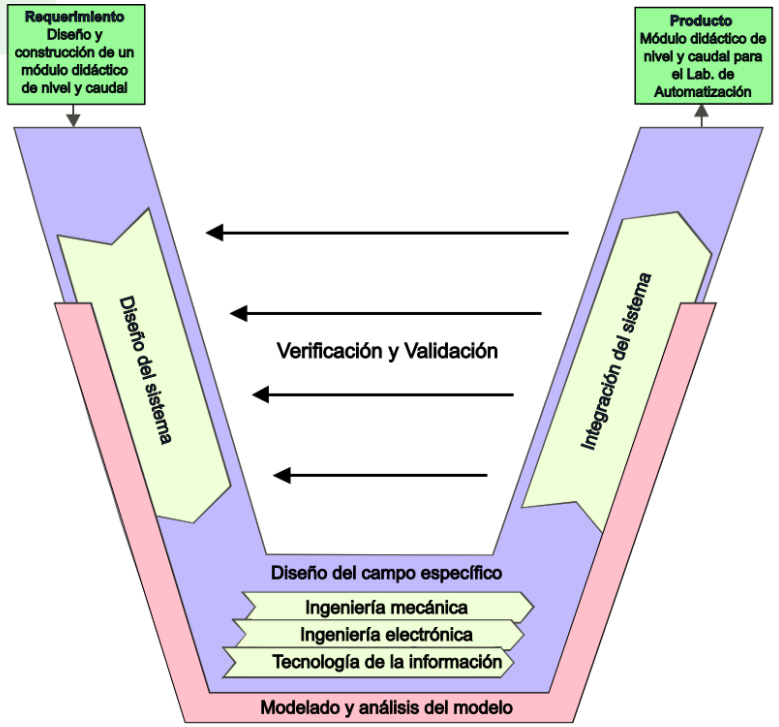
Diseño

Integración y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Diseño

VDI 2206

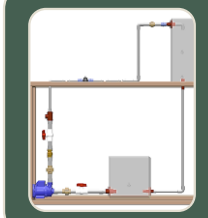


Requerimientos

- Costo - Efectividad
- Seguridad
- Facilidad de uso
- Modularidad

Diseño del Sistema

- Almacenamiento de Agua
- Marcha del Sistema
- Sensado de nivel de líquido
- Sensado de caudal
- Selección de modo de control
- Ingreso de valores deseados
- Circulación de agua en el sistema
- Variación de caudal en el sistema
- Ingreso de perturbaciones en el sistema
- Monitoreo de variables



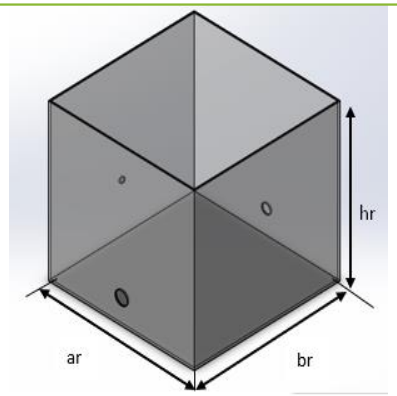
Subsistema mecánico

Subsistema eléctrico y electrónico

Subsistema de control

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño de Tanque de Reserva



Datos

$hr = 35cm$
$ar = 35cm$
$br = 35cm$
$er = 4mm$

Volumen

$v = hr * ar * br = 0.0428m^3 = 42.88\ l$
$hr = 30cm\ altura\ real\ de\ llenado$
$vc = 36{,}75l\ volumen\ real\ de\ trabajo$

Fuerza entre paredes br y hr

$$FRr = \left(998kg/m^3 * 9.81m/s^2 * \frac{0.30m}{2}\right) * (0.35m * 0.30m)$$

$FRr = 154.198N$

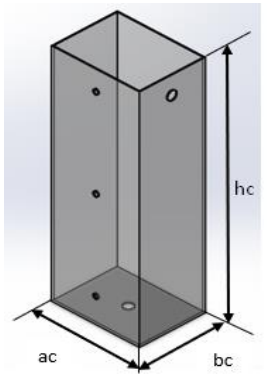
Fuerza entre las paredes ar y hr

$$FRr = \left(998kg/m^3 * 9.81m/s^2 * \frac{0.30m}{2}\right) * (0.35m * 0.30m)$$

$FRr = 154.198N$

La máxima fuerza que soportará es de 154.198N

Diseño de Tanque de Control



Datos

$hc = 55cm$
$ac = 20cm$
$bc = 15cm$
$ec = 4mm$

Volumen

$v = hc * ac * bc = 0.0165m^3 = 16.5\ l$
$hc = 48cm\ altura\ real\ de\ llenado$
$vc = 14.4l\ volumen\ real\ de\ trabajo$

Fuerza entre las paredes bc y hc

$$FRc = \left(998kg/m^3 * 9.81m/s^2 * \frac{0.48m}{2}\right) * (0.48m * 0.15m)$$

$FRc = 169.178N$

Fuerza entre las paredes ac y hc

$$FRc = \left(998kg/m^3 * 9.81m/s^2 * \frac{0.48m}{2}\right) * (0.48m * 0.20m)$$

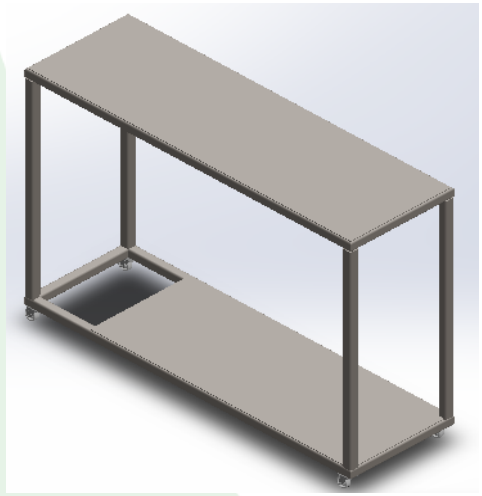
$FRc = 225.57N$

La máxima fuerza que soportará es de 225.57N

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño de Estructura Metálica

Diseño CAD

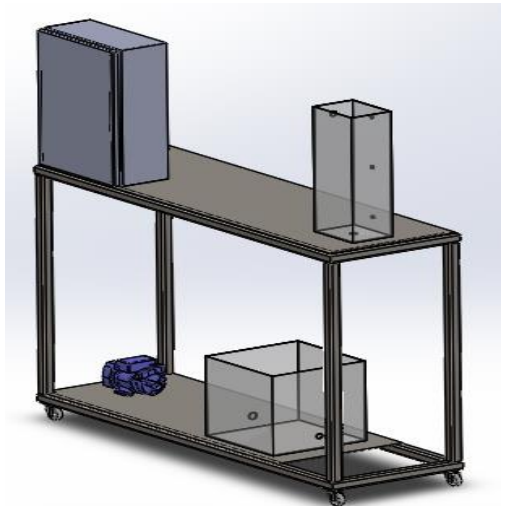


Dimensiones de estructura:

150x100x45cm

Tubo Cuadrado: 40x40x1.5mm
Plancha superior: 1500x450x3mm
Plancha inferior: 1230x450x3mm
Garruchas: *2.5in*

Aplicación de cargas



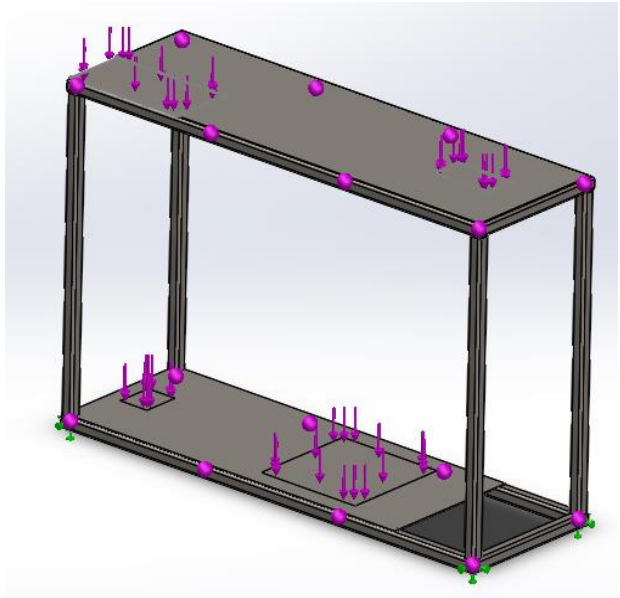
Fuerza platina superior

$Ft = 78.48\text{N}$
$FRc = 225.57N$
$Fps = 225.57N + 78.48\text{N} = 304.05N$

Fuerza platina inferior

$Fb = 51.012N$
$FRr = 154.198N$
$Fpi = 154.198N + 51.012\text{N} = 205.21N$

Distribución de cargas y puntos de apoyo



Diseño del Subsistema Mecánico

Introducción

Diseño

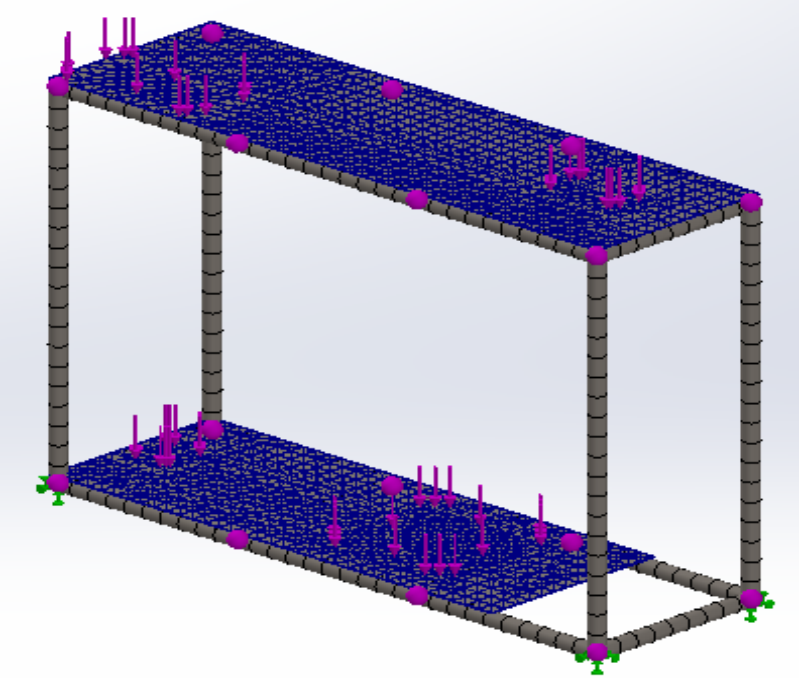
Integración y Resultados

Conclusiones y recomendaciones

Diseño de Estructura Metálica

Datos con diferentes tamaños de malla.

N°	Tamaño de malla (mm)	N° de elementos	Von Misses (MPa)
1	45	6267	4.98
2	40	7431	5.04
3	35	8544	5.84
4	32.451	9720	7.66
5	30	10659	8.90
6	25	19607	10.03
7	20	28539	14.18
8	15	35979	16.51
9	12	55667	18.90
10	10	122615	19.73



Diseño del Subsistema Mecánico

Introducción

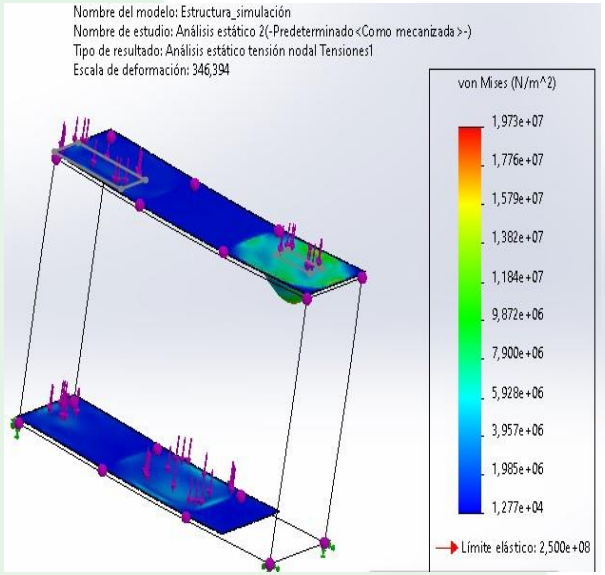
Diseño

Integración y Resultados

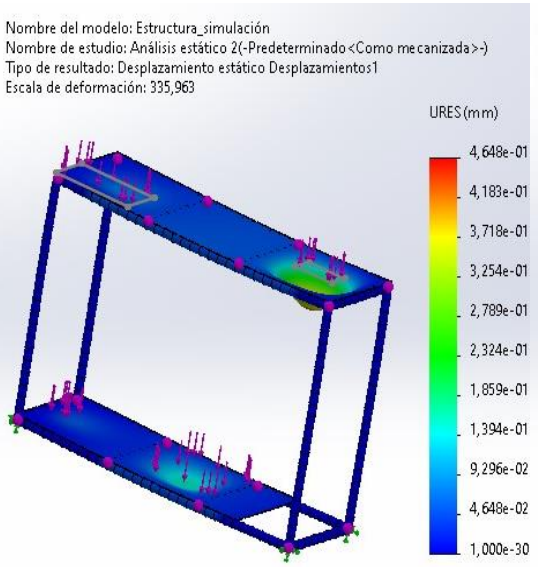
Conclusiones y recomendaciones

Diseño de Estructura Metálica

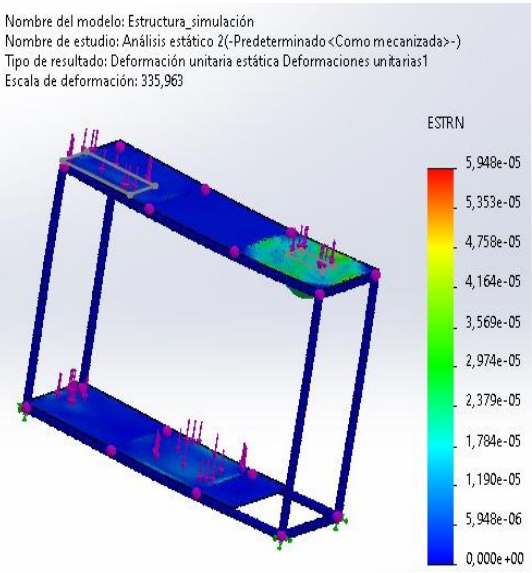
Análisis estático de tensiones (Von Misses).



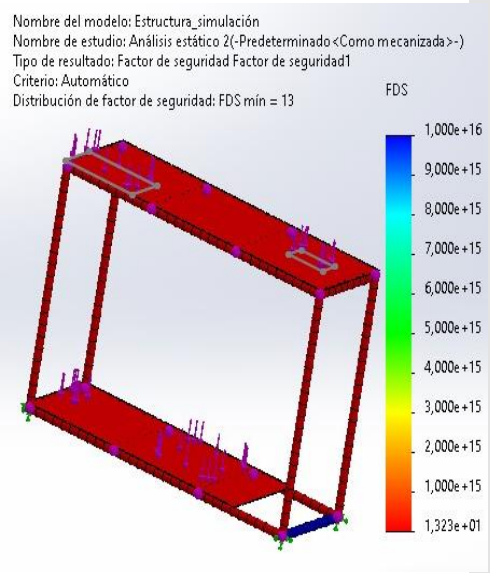
Análisis estático de trazado de desplazamiento.



Análisis estático deformación unitaria.



Factor de seguridad.



Esfuerzo máx.=19.73MPa

Límite de elasticidad acero A36=250MPa

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_M}$$

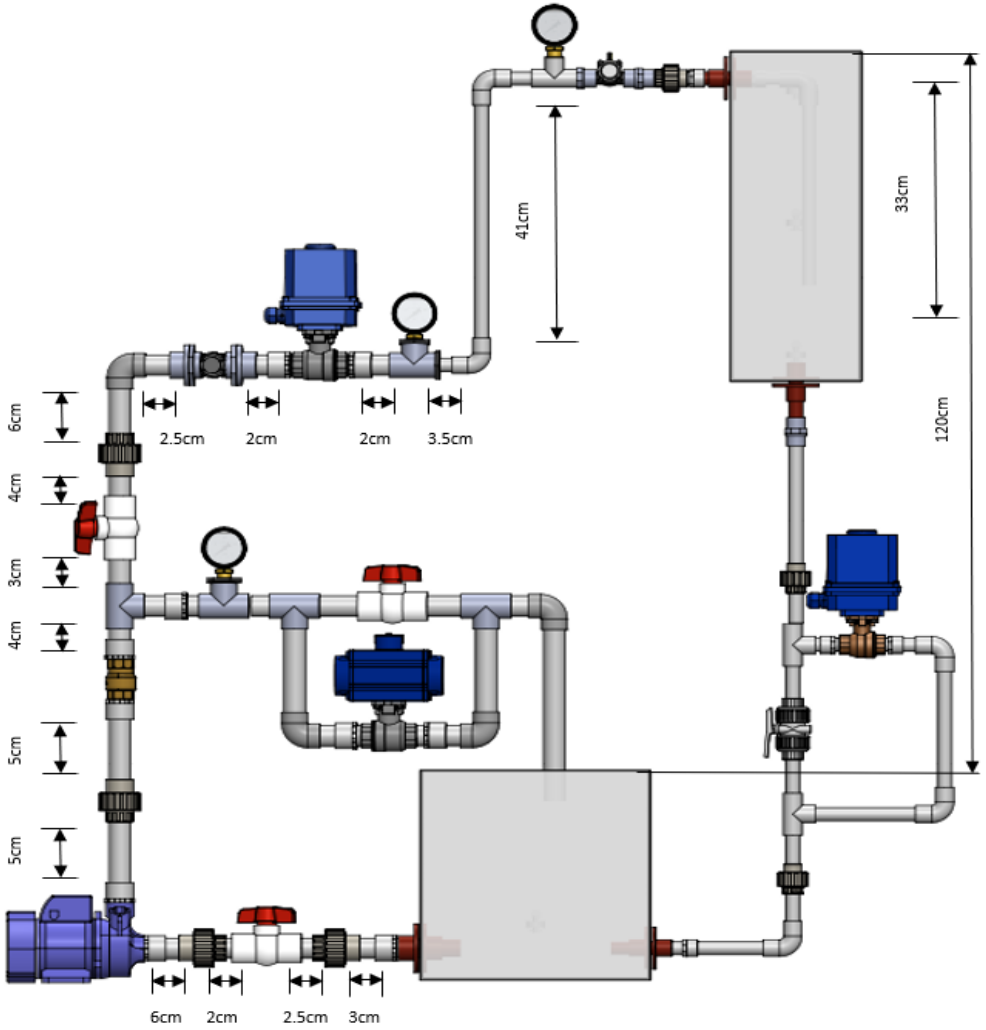
$$FS = \frac{250\text{MPa}}{19.73\text{MPa}}$$

$$FS = 12.67 \approx 13$$

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño del Sistema de tuberías

Longitudes de sistema de tubería para la corriente de flujo



Tubería de vaciado (cédula 40) en el tanque de control
Diámetro interno de la tubería= 15.8mm
Longitud=33cm

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{Volumen\ del\ tanque - Volumen\ de\ tubería\ de\ vaciado}{tiempo\ de\ llenado}$$

$$Q = \frac{(0.0144 - \pi * (7.65 * 10^{-3})^2 * 0.33)m^3}{30s}$$

$$Q = 4.779 * 10^{-4}\ m^3/s \approx 28.674\ L/min$$

Cálculo para selección de bomba

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

$$h_A - h_L = z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño del Sistema de tuberías

Pérdida a la salida del tanque de reserva

$$h_L = K\frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_L = Valor\ de\ pérdidas$
$K = Coeficiente\ de\ resistencia$
$V = Velocidad\ en\ el\ punto\ de\ interés$
$g = Gravedad$

Diámetro interno de la tubería=26.3mm (en tanque de reserva)

$$Vr = \frac{Q}{A}$$

$$Vr = \frac{4.779 * 10^{-4}\ m^3/s}{\pi * (0.01315)^2 m^2}$$

$$Vr = 0.879 m/s$$

Coeficiente de resistencia de k=1

$$h_L = 1 * \frac{(0.879 m/s)^2}{2 * 9.81 m/s^2}$$

$$h_L = 0.0394 m$$

Pérdidas en tubería de 1 pulgada

$$Número\ de\ Reynolds = N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

En donde:

$v = Velocidad\ de\ flujo\ (m/s)$
$D = Diámetro\ interno\ de\ la\ tubería\ (m)$
$\rho = Densidad\ del\ fluido\ (kg/m^3)$
$\eta = Viscosidad\ del\ fluido\ (Pa * s)$

En 20℃ la viscosidad de fluido es de $1.02 * 10^{-3}\ Pa * s$

$$N_R = \frac{0.879 m/s * 0.0263 m * 998 kg/m^3}{1.02 * 10^{-3}\ Pa * s}$$

$$N_R = 22619.083 (flujo\ turbulento)$$

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño del Sistema de tuberías

Pérdida de carga provocada por la fricción en tubería

Ecuación de Darcy $= h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$

Donde:

$h_L = Pérdida\ de\ energía\ debido\ a\ la\ fricción\ (N * \frac{m}{N}, n, lb - \frac{pie}{lb} o\ pies)$

$L = Longitud\ de\ la\ corriente\ del\ flujo\ (m\ o\ pies)$

$D = Diámetro\ de\ la\ tubería\ (m\ o\ pies)$

$v = Velocidad\ promedio\ del\ flujo\ (m/s\ \ o\ \ pies/s)$

$f = Factor\ de\ fricción\ (adimensional)$

$$\varepsilon_R = \frac{D}{\varepsilon}$$

$\varepsilon_R = Rugosidad\ relativa$

$D = Diámetro\ interno\ de\ la\ tubería\ (m)$

$\varepsilon = Rugosidad\ de\ la\ tubería/material(m)$

Rugosidad de tubos de plástico es $3.0 * 10^{-7} m.$

$$\varepsilon_R = \frac{0.0263m}{3 * 10^{-7} m}$$

$$\varepsilon_R = 87666.67$$

$$Factor\ de\ fricción = f = \frac{0.25}{\left[log\left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[log\left(\frac{1}{3.7\varepsilon_R} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}\right)\right]^2}$$

En donde:

$\varepsilon_R = Rugosidad\ relativa$

$N_R = Número\ de\ Reynolds$

$$f = \frac{0.25}{\left[log\left(\frac{1}{3.7 * (87666.67)} + \frac{5.74}{11785.597^{\,0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.0296$$

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$L = 0.915m$$

$$h_L = 0.0296 * \frac{0.915m}{0.0263m} * \frac{(0.879m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h_L = 0.041m$$

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño del Sistema de tuberías

Pérdidas en codos

$$Coeficiente\ de\ resistencia = k = \left(\frac{Le}{D}\right) * f$$

En donde:

$$\frac{Le}{D} = Relación\ entre\ longitud\ equivalente$$

$f = Factor\ de\ fricción\ en\ tubería\ a\ la\ que\ se\ conecto\ acoplamiento.$

Se ocupa $k = 30f$ dado para codos de 90°

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.0296 * 30 * \frac{(0.879m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h_L = 0.0349m * 3 = 0.104m$$

Pérdida en válvula de bola

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.0296 * 150 * \frac{(0.879m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h_L = 0.175\text{m}$$

$$h_L = 0.175\text{m} * 4 = 0.699\text{m}$$

Pérdida en Tee

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.0296 * 20 * \frac{(0.879m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h_L = 0.0233m$$

$$h_L = 0.0233m * 3 = 0.0699\text{m}$$

Se suman todas las pérdidas a continuación:

$$h_{LT} = 0.0394m + 0.041m + 0.104m + 0.699\text{m} + 0.0699\text{m}$$

$$h_{LT} = 0.9533m$$

Diseño del Subsistema Mecánico

Diseño del Sistema de tuberías

Cálculo para selección de bomba

$$h_A - h_{LT} = z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

$$h_A - 0.9533m = 1.2m + \frac{(0.879m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h_A = 2.193m$$

Potencia mínima para la bomba

$$P = \frac{h_A * \rho * g * Q}{\varepsilon}$$

Donde:

$P = Potencia\ de\ la\ bomba\ (W)$

$h_A = \ Altura\ de\ la\ bomba\ (m)$

$\rho = Densidad\ de\ fluido (kg/m^3)$

$Q = Caudal\ (m^3/s)$

$\varepsilon = Eficiencia\ de\ la\ bomba\ según$ (Mott, 2006. p. 208)

$$P = \frac{2.193m * 998kg/m^3 * 9.81m/s^2 * 4.779 * 10^{-4}\ m^3/s}{80\%}$$

$$P = \ 12.823W \approx 0.01719HP$$

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección de Sensores

- **Sensor de nivel**

Sensor de nivel flotador horizontal

Características generales	
Voltaje Máximo	100 V DC/AC
Carga máxima	10W
Presión máxima	0.6 MPa
Rango de Temperatura	-30° a 140°C
Resistencia pull-up	1k Ω

- **Sensor de caudal**

Sensor de flujo YF-S201

Sensor de flujo FS-400A

	FS-400A	YF-S201
Voltaje de trabajo	4.5V – 24V DC	
Máxima corriente de trabajo	15mA (5V DC)	
Capacidad de carga	10mA (5V DC)	
Salida	5V TTL	
Rango de Flujo	1 – 60 l/min	1 – 30 l/min
Tubería (Rosca externa)	1”	½”
Presión de trabajo máxima	1.2 MPa	1.75 MPa
Factor de conversión	4.8	7,5
Pulsos por litro	280	450

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

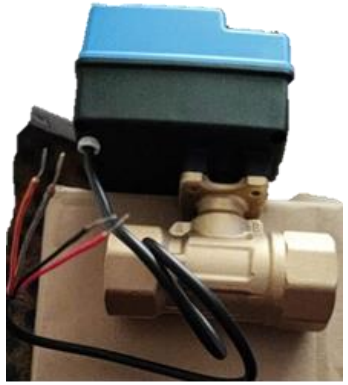
Selección de Actuadores

- **Bomba de agua**

Electrobomba monofásica con rodete periférico (Pedrollo)

Características generales	
Modelo	PKm60 - MD
Voltaje	110V AC
Potencia	0.37kW - 0.5HP
Corriente nominal	6.5A
Caudal	5 – 60 l/min
Altura máxima	30m

- **Válvula de control**



Válvula de bola proporcional modulada motorizada Kazeffi de 1”

Características generales	
Voltaje de operación	24V AC
Torque	3.5 N.m
Tiempo de recorrido	30 – 40 segundos
Potencia	2 W
Señal de control	4(0) – 20 mA / 0(2) – 10 V DC
Señal de retroalimentación	0(2) – 10 V DC
Presión Nominal	2.0 MPa

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección de Actuadores

- **Válvula de descarga y válvula de retorno**

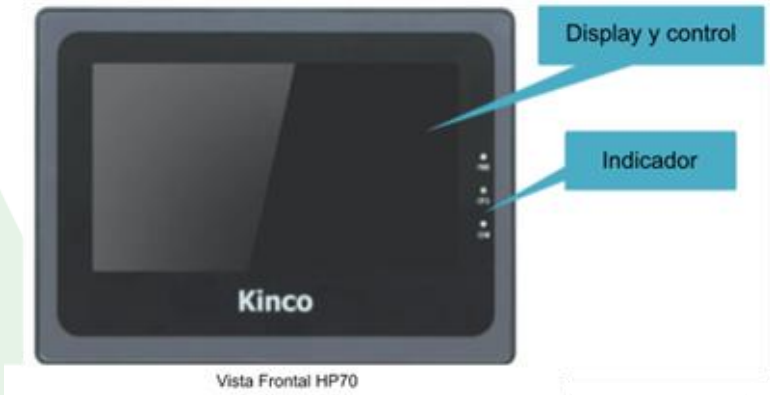
Válvula de bola ON/OFF motorizada U.S. Solid

Características técnicas		
	Válvula de descarga	Válvula de retorno
Modelo	USS-MSV00010	USS-MSV00018
Torque	2 N.m	
Tiempo de cierre / abertura	3 – 5 s	
Voltaje	9 – 24 V DC	
Potencia	5 W	
Grado de protección IP	IP65	
Presión Máxima	1.0 MPa	
Rango de Temperatura del Flujo	0° - 90° C	
Tubería (Rosca)	½”	1”

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Controlador y HMI

- HMI – PLC



Kinco HMI + PLC HP070-33DT

Características generales	
PLC	
Voltaje de Trabajo	DC 24V
Entradas/Salidas Digitales	16 entradas * 24 VDC 14 salidas Transistor
Entradas/Salidas Analógicas	2 entradas * (Voltaje o Corriente) 1 salida * (Voltaje o Corriente)
Puerto de programación	USB 2.0
Tamaño	204 x 150 x 38.55 mm
HMI	
Tamaño LCD	7” TFT
Resolución	800*480
Color	65536
Panel touch	4 líneas, web de resistencias (4H)
Memoria	128M Flash + 32M DDR
Descarga de programación	1 USB

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

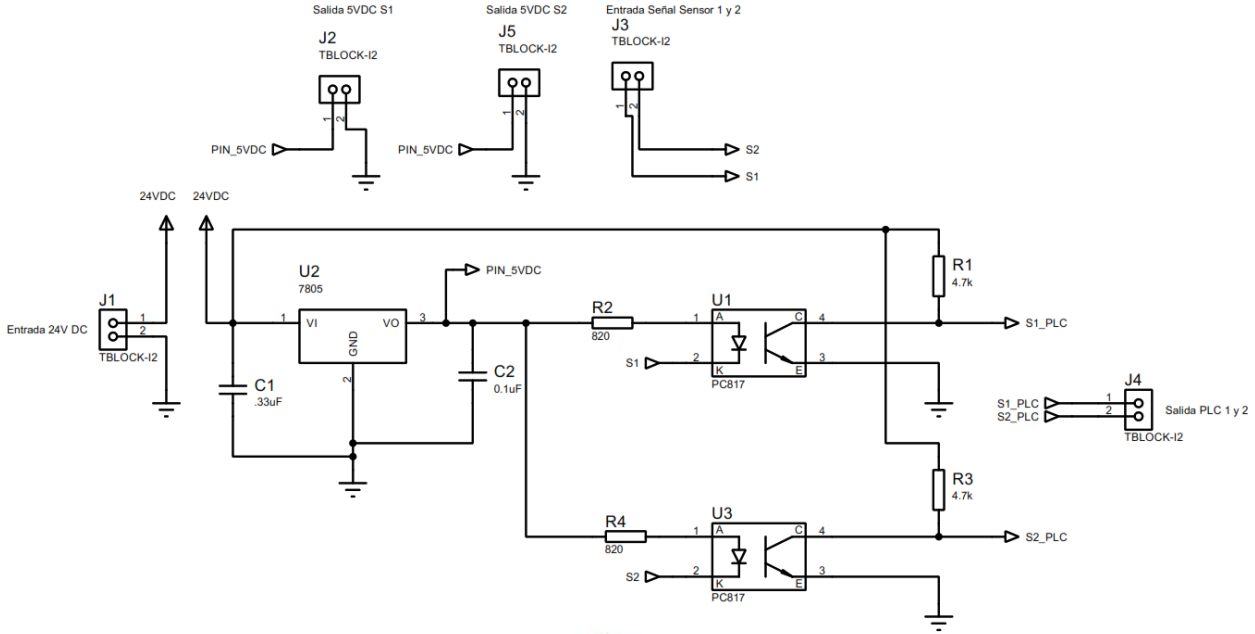
- **Diseño de Placa PCB**

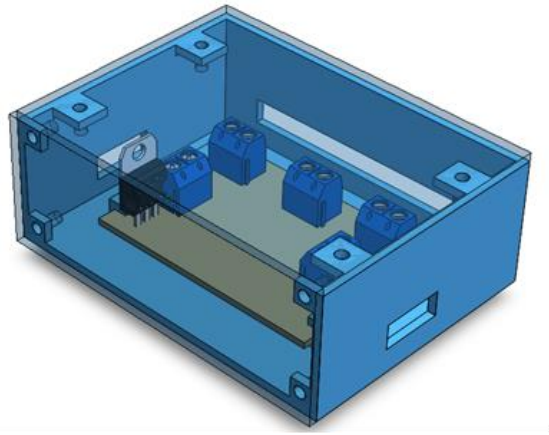
Señal del sensor de flujo 0-5 V DC a 0-24 V DC

Uso del optoacoplador PC817

Cálculo de resistencias: 4700 y 820Ω

Regulador de voltaje LM7805 para alimentación de sensores





Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

- **Interruptor termomagnético**

  Circuito de potencia

  2 polos
  6.5A x 1.25 = 8.125 A (10A Valor comercial)

  Circuito de control

  1 polo
  3.2A x 1.25 = 4A (6A Valor comercial)

Schneider EZ9F34210

Schneider EZ9F34106

- **Fusible y portafusible**

  Protección del PLC

  Consumo del HMI: 10W

  Corriente máxima en cada salida del PLC:
  200mA x 14 = 2.8A

  2.8A + 10/24 = 3.22A

  3.22A x 1.20 = 3.864 (4A Valor comercial)

Fusible 4A CGC

Portafusible 32A Ebasee

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

- **Fuente de Alimentación**

Alimentación principal: 110V AC

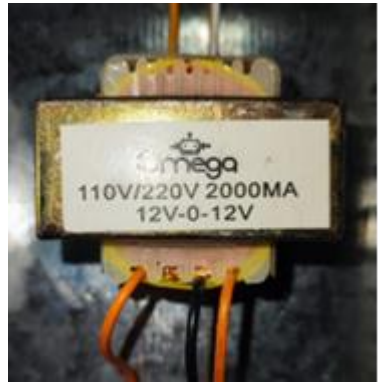
Alimentación PLC, sensores, y válvula de descarga y retorno: 24V DC

Potencia: 0.75W
Corriente: 3.2A
Montaje en riel DIN
Protección contra cortocircuitos y sobrecarga

Mean Well EDR-75-24

- **Transformador**

Alimentación para la válvula de control: 24VAC



Transformador 110V – 24V AC

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

- **Contactor**

  6.5A x 1.25 = 8.125 A (9A Valor comercial)

  Categoría AC-3

  Bobina 110V AC

  Trifásico hasta motores de 3HP

CGC LC1-D0910

- **Relé térmico**

  Corriente nominal: 6.5A

  Rango de corriente: 5.5 a 8A

Ebasse EBS1TR-25

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

- **Relé encapsulado**

  Protección hacia las salidas del PLC

  Bobina de 24VDC

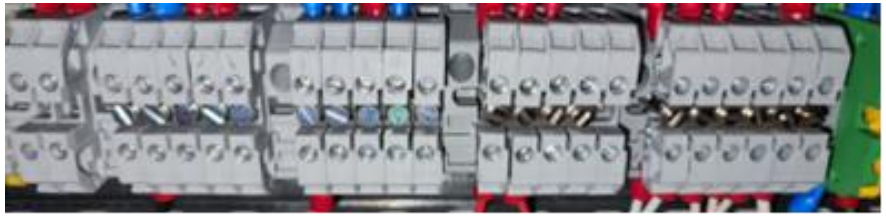
  Relés de 8 pines

CGC MK2P-I

- **Borneras**

  Organizar correctamente los cables

  Uso de puentes equipotenciales



Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

- **Dispositivos de mando y luces piloto**

MANDO

Botón para el paro de emergencia
Selector de 2 posiciones para modo manual y automático
Pulsador de marcha NA
Pulsador de paro NC

LUCES PILOTO

Alimentación: 110V AC
Luz roja para emergencia y paro
Luz verde para modo automático, manual y marcha

Diseño del Subsistema Eléctrico y Electrónico

Selección del Tablero Eléctrico

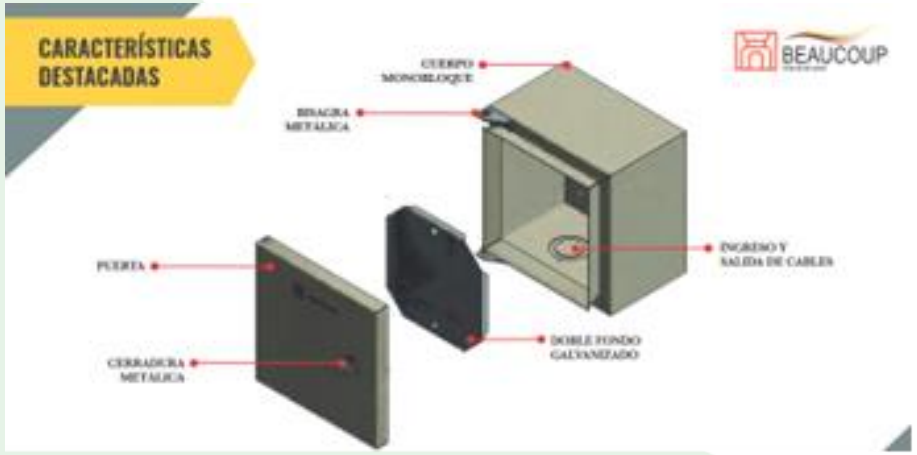
- **Tablero eléctrico**

Dimensiones: 600 x 400 x 200 mm

IP42

Peso: 8 kg.

Montaje de rieles y canaletas



- **Cableado**

Circuito de potencia: Cable flexible 14 AWG

Color	Función
Negro	Fase
Blanco	Neutro
Verde	Tierra

Circuito de control: Cable flexible 18 AWG

Color	Función
Rojo	Positivo DC
Blanco	Común o Negativo DC
Azul	Entradas PLC
Amarillo	Salidas PLC

Diseño del Subsistema de Control

Lógica de control

El módulo didáctico dispondrá de un pulsador de marcha o inicialización del proceso, un pulsador de paro, un selector para modo manual - automático y un botón de paro de emergencia. Además, luces indicadoras que ayuden a visualizar el modo de trabajo del proceso. En caso de que en el tanque de reserva este vacío o no este dentro del nivel mínimo de agua, el proceso se detiene y se activará la luz indicadora de emergencia.
Los dos modos de operación son los siguientes:

MANUAL: Con este modo se da la posibilidad al usuario de seleccionar los actuadores que se desea activar: la bomba, la válvula de descarga o la válvula de retorno. Además de seleccionar cuál es la apertura de la válvula de control que desea. La activación manual de esto se lo hará a través de una pantalla HMI.

AUTOMÁTICO: En este modo se seleccionarán los sets points tanto para el caudal como para el nivel. El proceso inicia con la activación de la bomba para llenar el tanque de control hasta el nivel de set point ingresado (nivel medio o alto), luego de 5 segundos comenzará la etapa de vaciado, cuando el tanque de control se encuentra por debajo del nivel bajo, el proceso iniciará de nuevo.

Diseño del Subsistema de Control

Tabla de variables

Nº.	Descripción	Símbolo	Dirección	Tipo Dato
	Entradas Digitales			
1	Sensor de caudal 1	SF_1	I0.1	BOOL
2	Sensor de nivel bajo de tanque de reserva	SNB_TR	I0.2	BOOL
3	Sensor de caudal 2	SF_2	I0.3	BOOL
4	Sensor de nivel bajo de tanque de control	SNB_TC	I0.5	BOOL
5	Sensor de nivel medio de tanque de control	SNM_TC	I0.6	BOOL
6	Sensor de nivel alto de tanque de control	SNA_TC	I0.7	BOOL
7	Botón de paro de emergencia	EMERGENCIA	I1.0	BOOL
8	Selector modo manual-automático	S_MODOS	I1.1	BOOL
9	Pulsador NA para dar marcha al proceso	MARCHA	I1.2	BOOL
10	Pulsador NC para dar paro al proceso en una etapa determinada	PARO	I1.3	BOOL
	Salidas Digitales			
11	Activación bomba para llenado de tanque	BOMBA	Q0.0	BOOL
12	Válvula de retorno a tanque de reserva	V_RETORNO	Q0.1	BOOL
13	Válvula para descarga de tanque de control	V_DESCARGA	Q0.2	BOOL
14	Luz indicadora de paro roja para paro	L_PARO	Q0.3	BOOL
15	Luz indicadora verde de puesta en marcha	L_MARCHA	Q0.4	BOOL
16	Luz indicadora verde de modo manual	L_AUTO	Q0.5	BOOL
17	Luz indicadora verde de modo automático	L_MANUAL	Q0.6	BOOL
18	Luz indicadora roja de paro de emergencia	L_EMERGENCIA	Q0.7	BOOL
	Entradas Analógicas			
20	Señal de retroalimentación de la válvula de control	POS_V_CONTROL	AIW2	WORD
	Salidas Analógicas			
21	Señal de control para la válvula de control	V_CONTROL	AQW0	WORD

Diseño del Subsistema de Control

Diseño de controladores

- **Controlador On - Off Nivel**

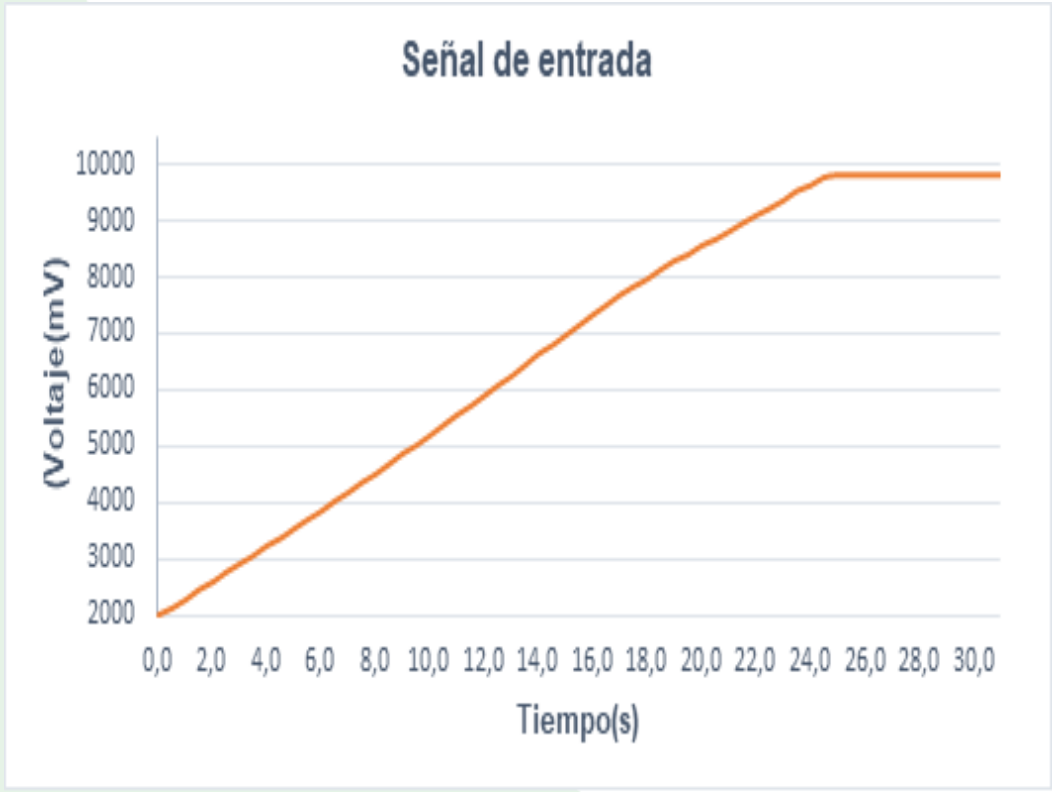
Este control permite que la bomba funcione hasta que el nivel del agua en el tanque de control llegué al nivel deseado (set point), estos pueden ser: nivel medio o nivel alto, y a continuación se apague.

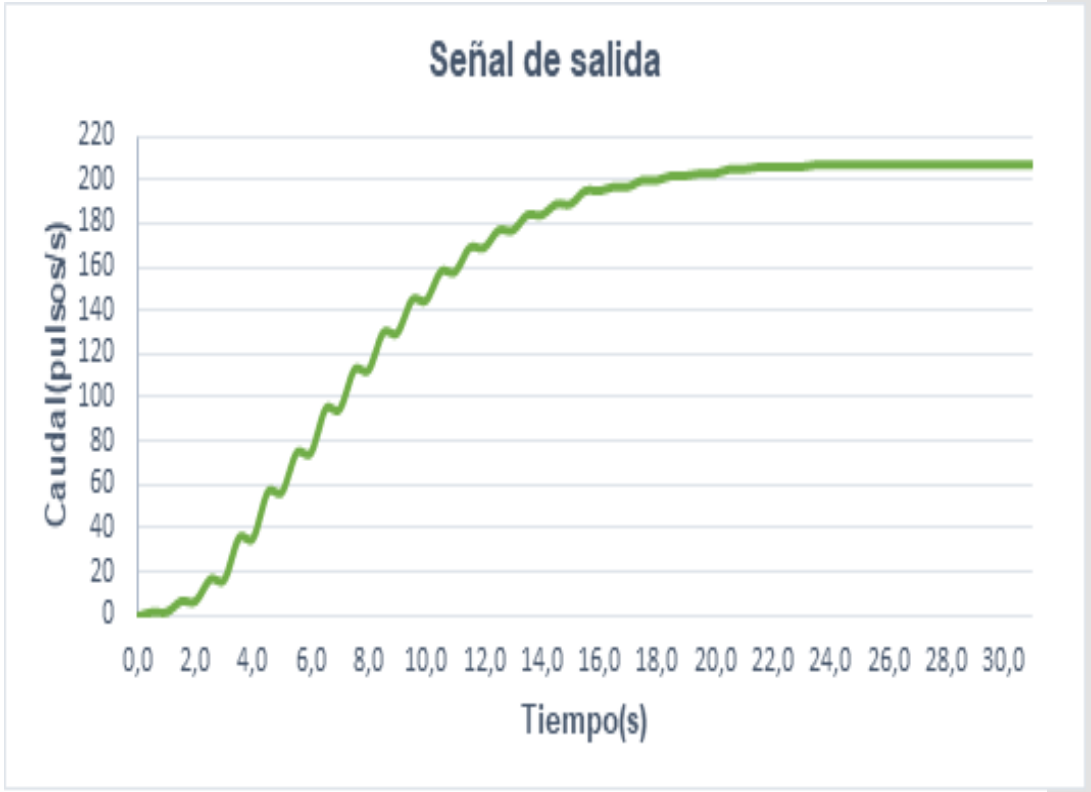
- **Controlador PID Caudal**

Identificación de la planta: medición con una señal de entrada tipo escalón, donde la entrada será el voltaje que entrega la válvula de acuerdo con la posición que se encuentra, que será 2V (completamente cerrada) y 9.9V (completamente abierta), y la salida será el caudal en pulsos x segundo que está leyendo el sensor de caudal que se encuentra a continuación de la válvula de control en la tubería de ½”.

Diseño del Subsistema de Control

Control PID





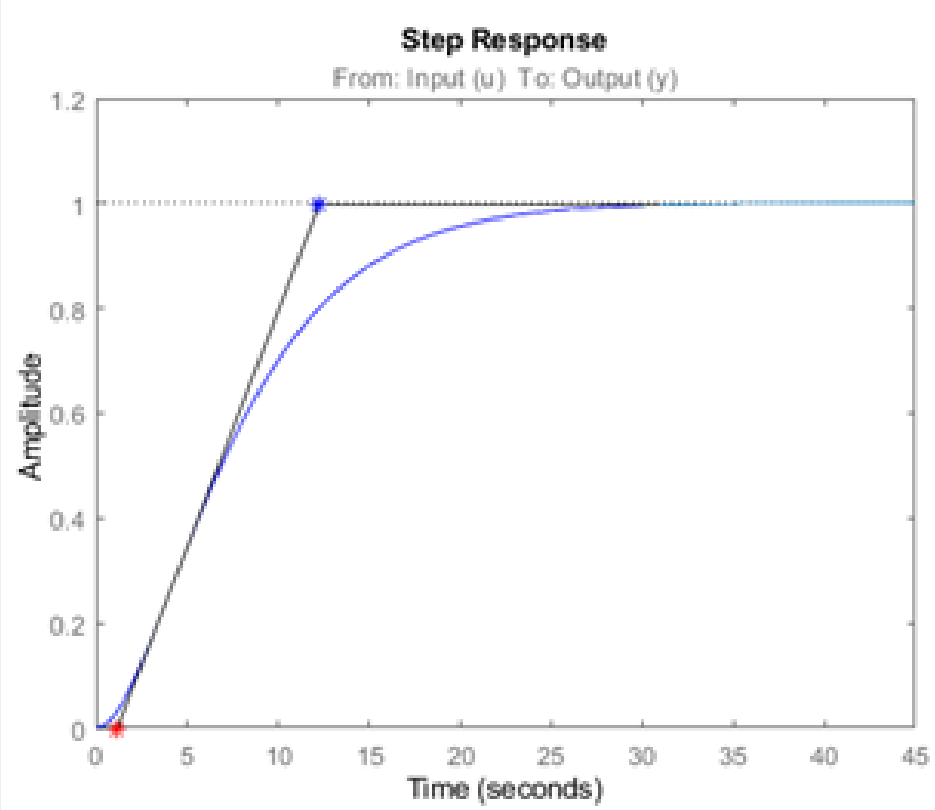
$$G(s)= \frac{1.011}{(1+4.0611s)(1+4.1212s)}$$: 91.08%

Diseño del Subsistema de Control

Control PID

- **Ziegler – Nichols**

  Constante de tiempo T = 11.09 y tiempo de retardo L = 1.15



	Fórmulas			Valores		
	Kp	Ki	Td	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0	9.65		
PI	0.9T/L	L/0.3	0	8.68	3.83	
PID	1.2 x T/L	2*L	0.5*L	11.58	2.3	0.57

$$Kp = 11.58$$

$$Ti = 3.83$$

$$Td = 0.57$$

Diseño del Subsistema de Control

Programación del PLC

Programa : Kinco Builder	Grafcet y Guía Gemma
Configurar entradas y salidas	Configurar contadores rápidos para la lectura de sensores de caudal
Configurar bloque PID	Carga del programa

Diseño del Subsistema de Control

Programación de HMI

Programa : Kinco HP Builder

Configurar comunicación HMI-PLC.

Diseño de pantallas

Programación de eventos y acciones.

Configuración de alarmas.

Asignación de etiquetas y variables.

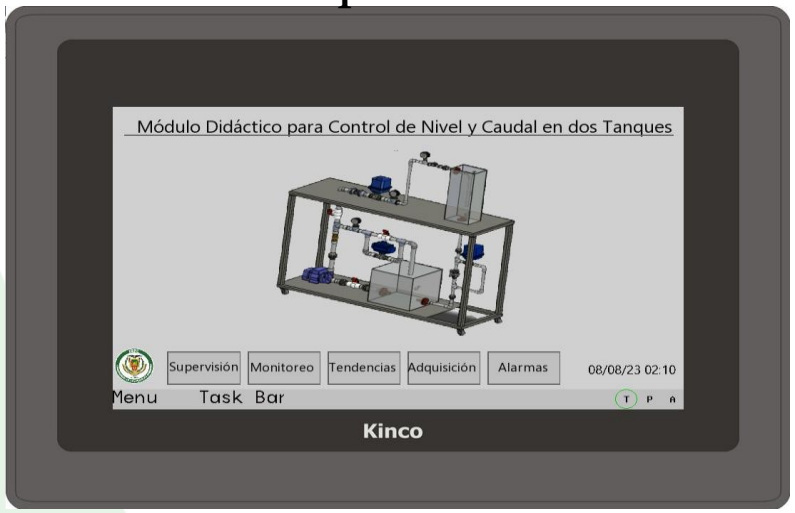
Simulación y pruebas.

Descarga del proyecto a la HMI.

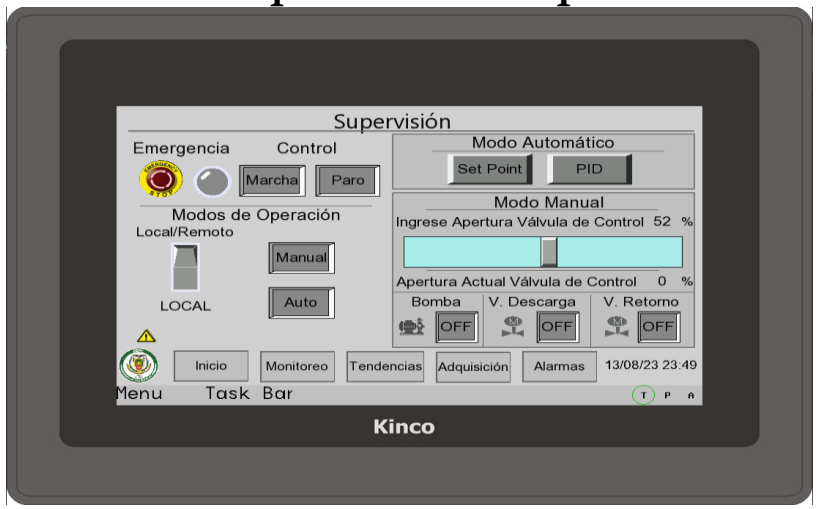
Diseño del Subsistema de Control

Diseño de pantallas HMI

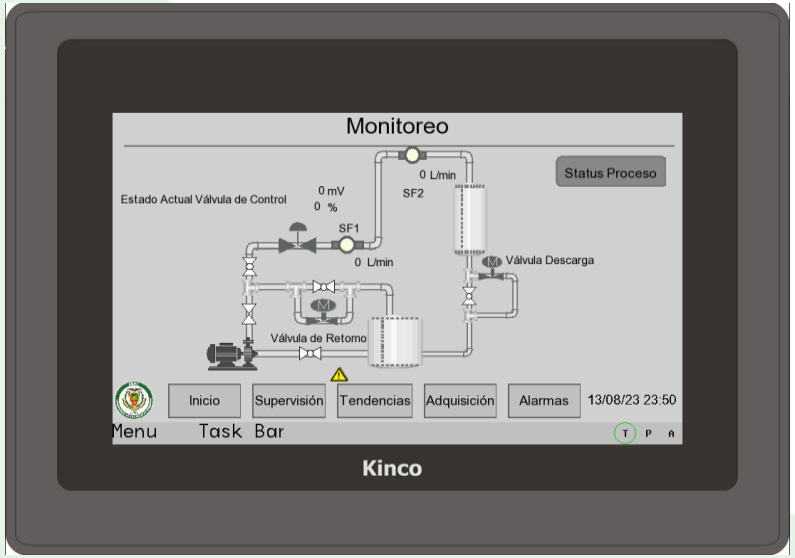
Diseño de pantalla de Inicio.



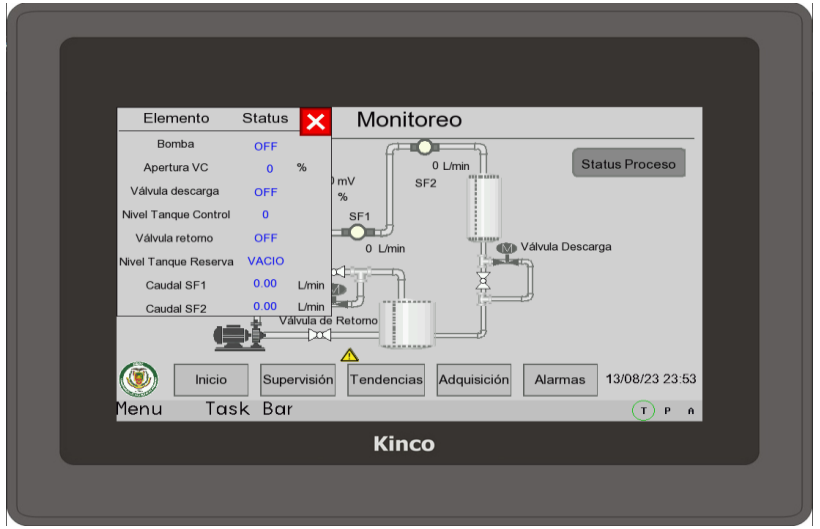
Diseño de pantalla de Supervisión.



Diseño de pantalla de Monitoreo.



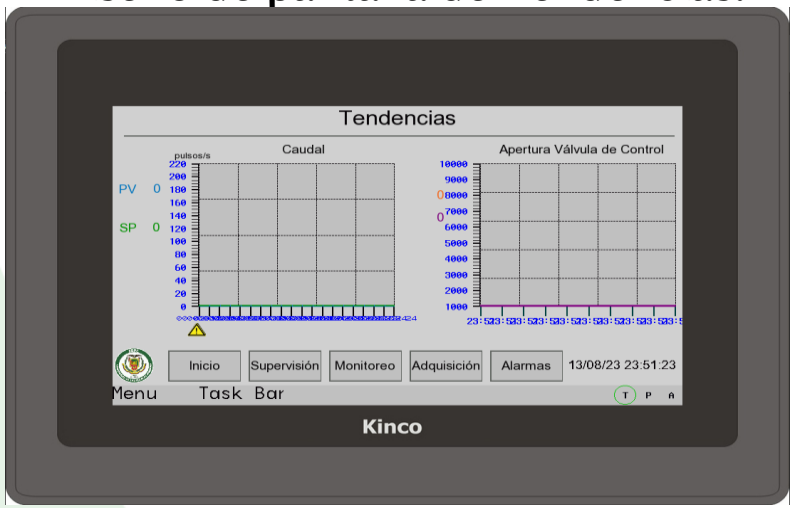
Diseño de popup ventana Status Proceso.



Diseño del Subsistema de Control

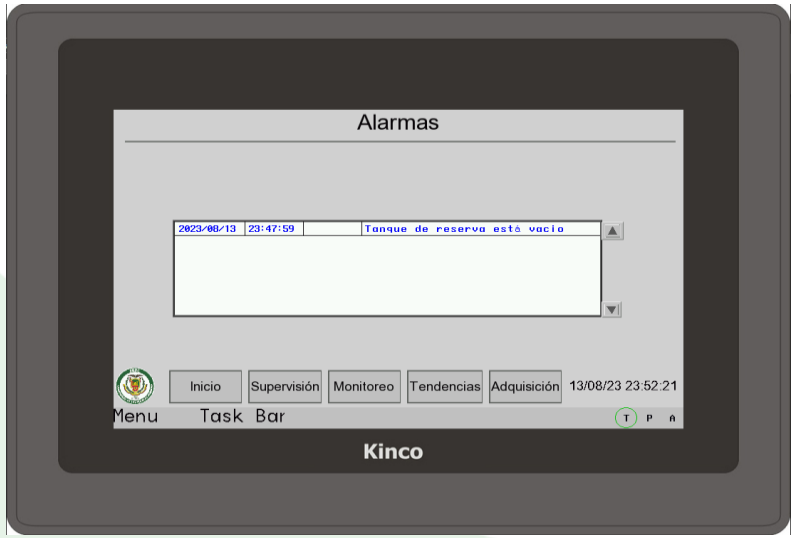
Diseño de pantallas HMI

Diseño de pantalla de Tendencias.



Diseño de pantalla de Adquisición de datos.

Diseño de pantalla de Alarmas.



Integración del Sistema

Introducción

Diseño

Integración y

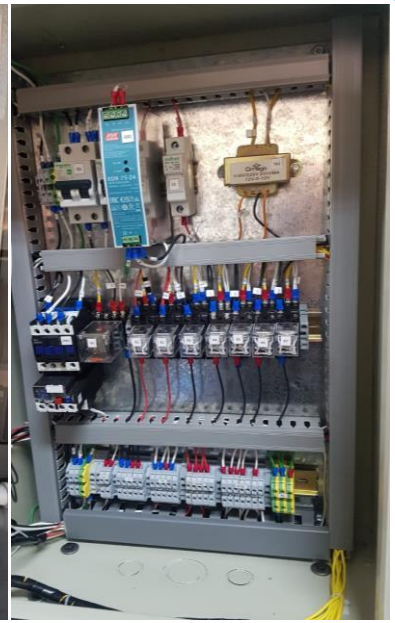
Resultados

Conclusiones y

Recomendaciones

Construcción sistema de tuberías.

Montaje de elementos eléctricos en tablero de control.



Ensamble final módulo didáctico.

Calibración de los Sensores de Caudal

N° Pulsos Sensor Flujo 1”	N° Pulsos Sensor Flujo ½”	Volumen (litros)	K1	K2
620	876	2	5.17	7.30
622	889	2	5.18	7.41
613	863	2	5.11	7.19
625	884	2	5.21	7.37
913	1312	3	5.07	7.29
917	1308	3	5.09	7.27
901	1281	3	5.01	7.12
911	1308	3	5.06	7.27
1211	1730	4	5.05	7.21
1186	1710	4	4.94	7.13
1184	1685	4	4.93	7.02
1208	1733	4	5.03	7.22
Promedio			**5.06**	**7.23**

Flujo de agua (L/min) = Pulsos del sensor (Hz) / factor de conversión

Verificación de Funcionamiento y Resultados

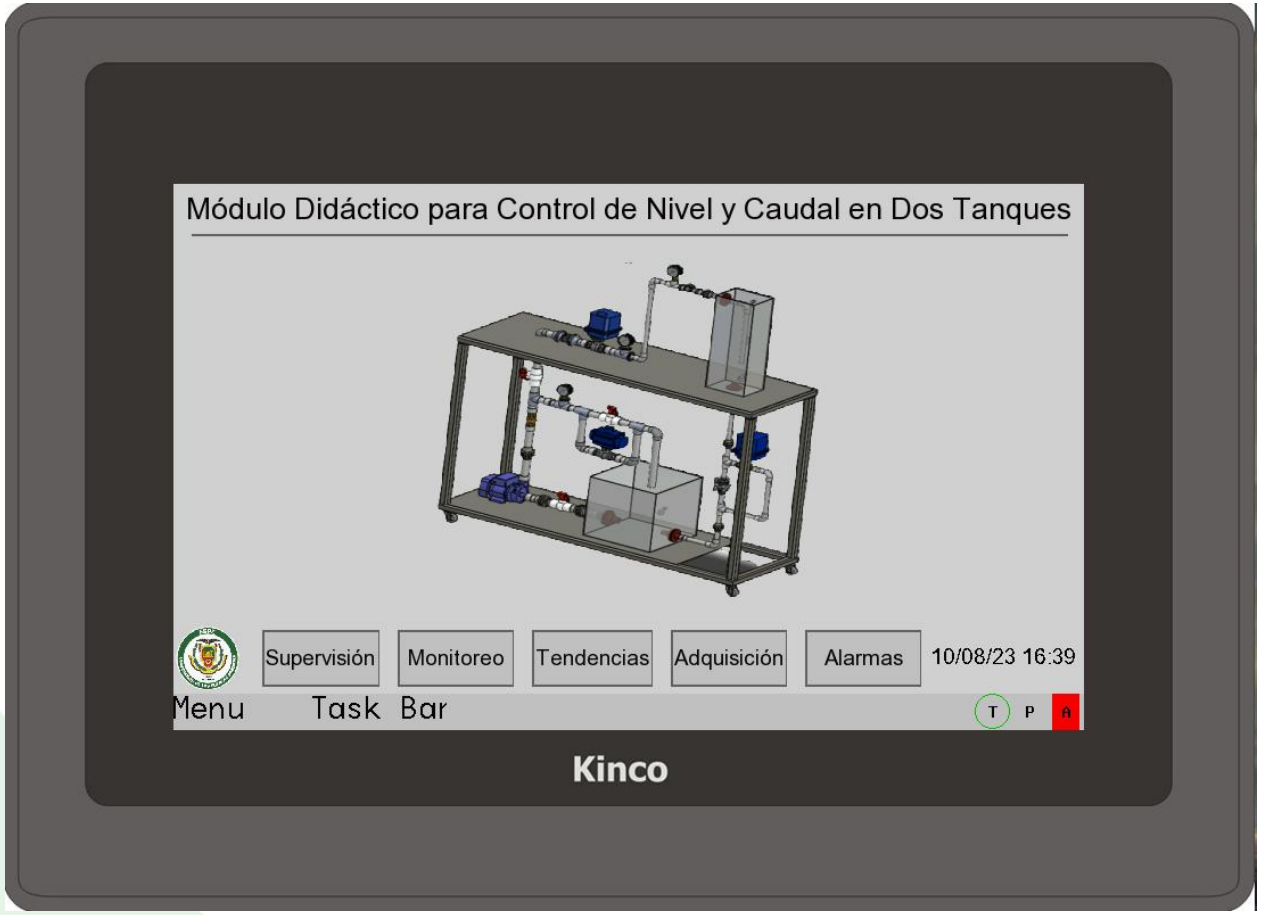
Introducción

Diseño

Integración y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Pantalla de inicio



Verificación de Funcionamiento y Resultados

Introducción

Diseño

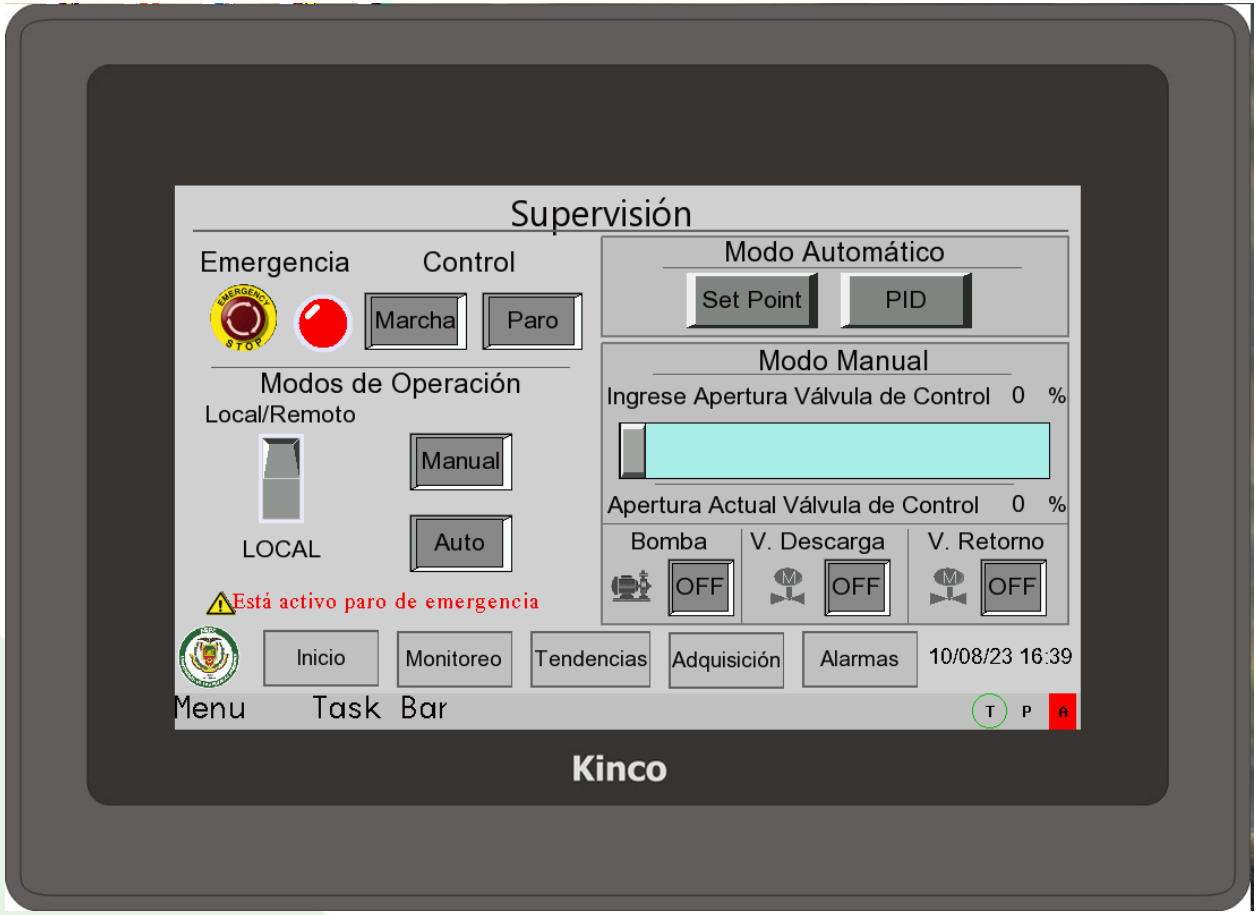
Integración y

Resultados

Conclusiones y

Recomendaciones

Emergencia



Verificación de Funcionamiento y Resultados

Introducción

Diseño

Integración y

Resultados

Conclusiones y

Recomendaciones

Selección de control Remoto / Local

Verificación de Funcionamiento y Resultados

Introducción

Diseño

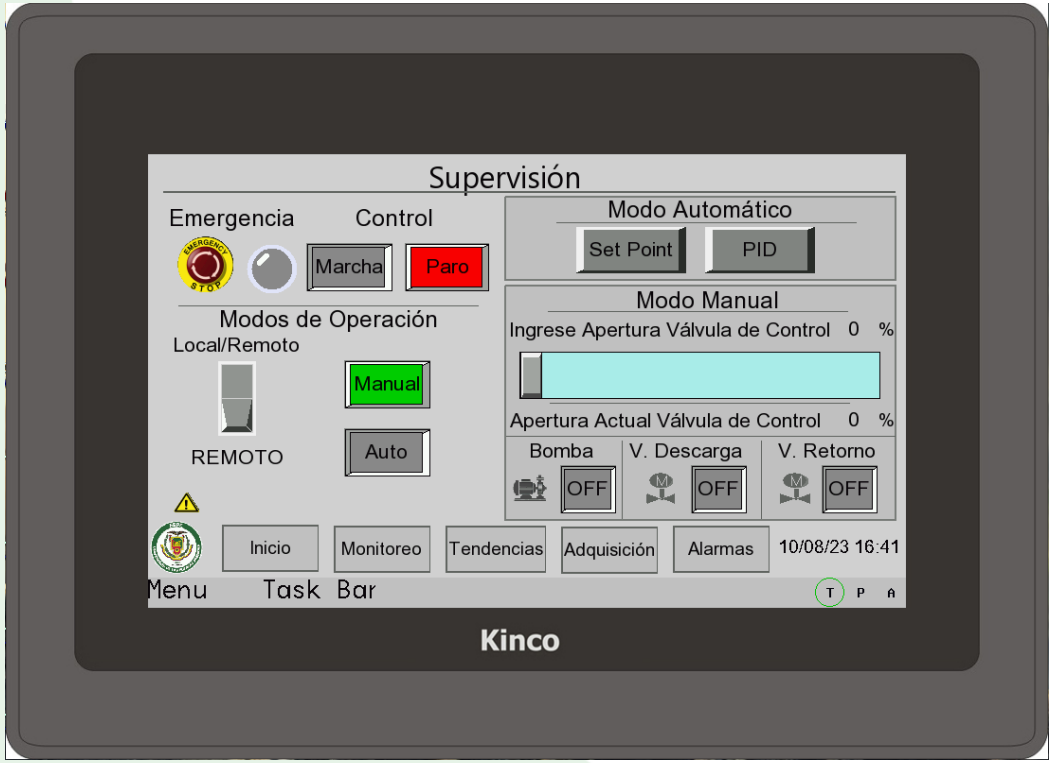
Integración y

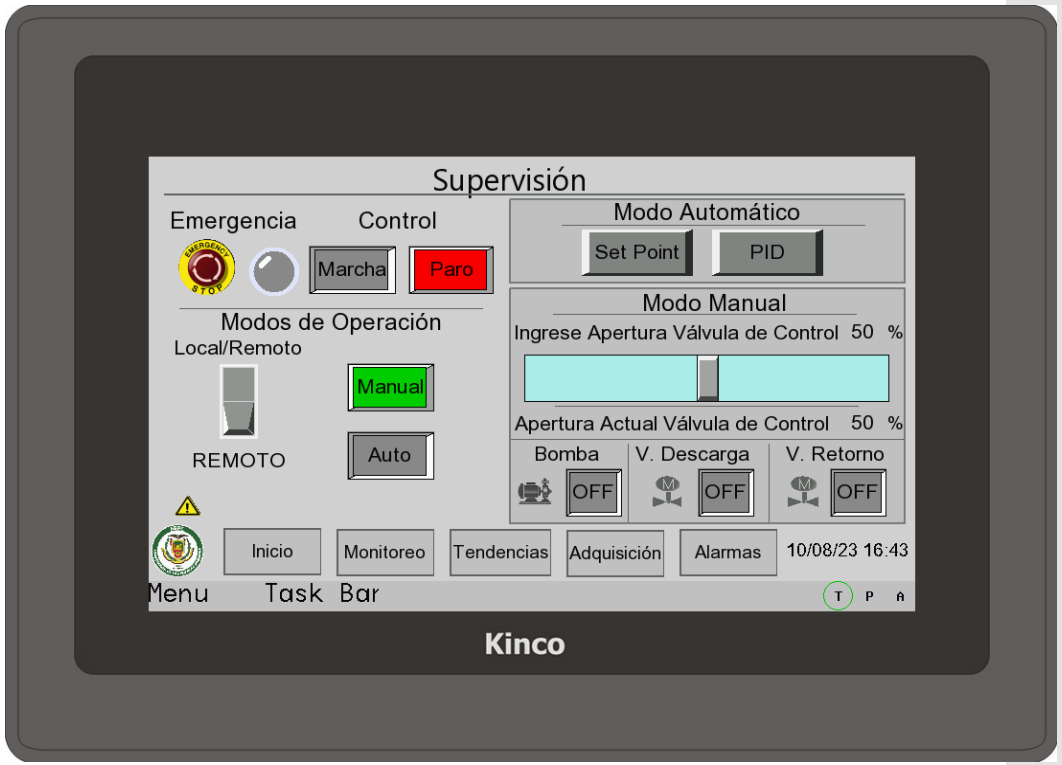
Resultados

Conclusiones y

Recomendaciones

Modo Manual





Introducción

Diseño

Integración y

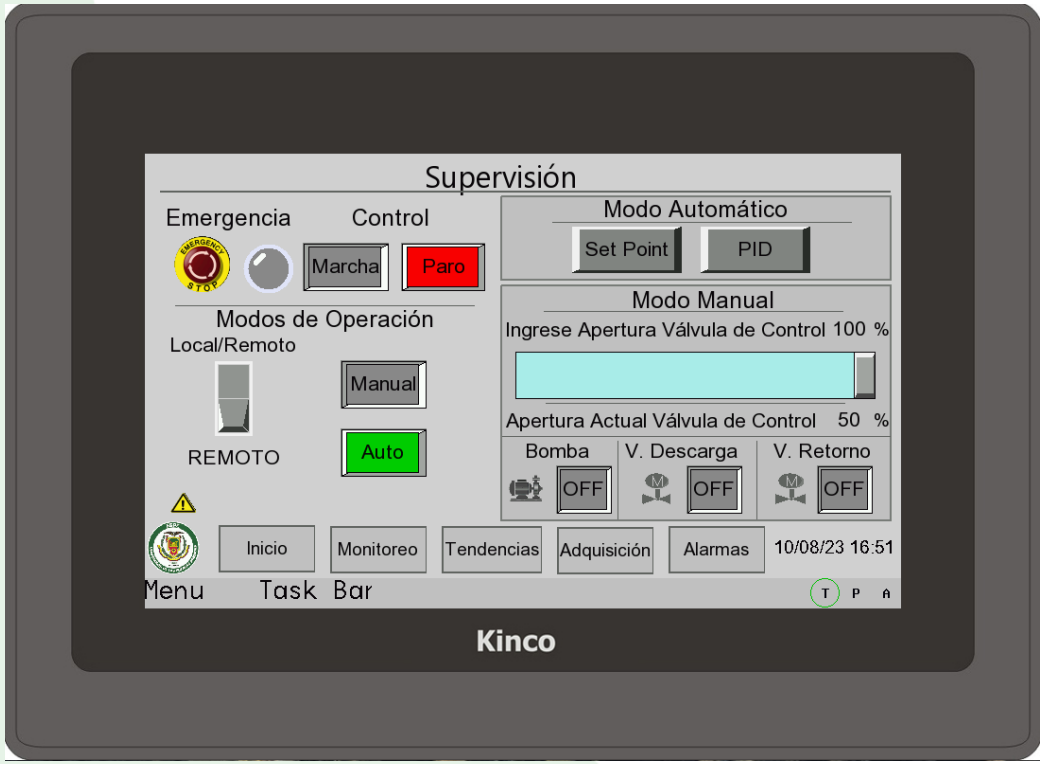
Resultados

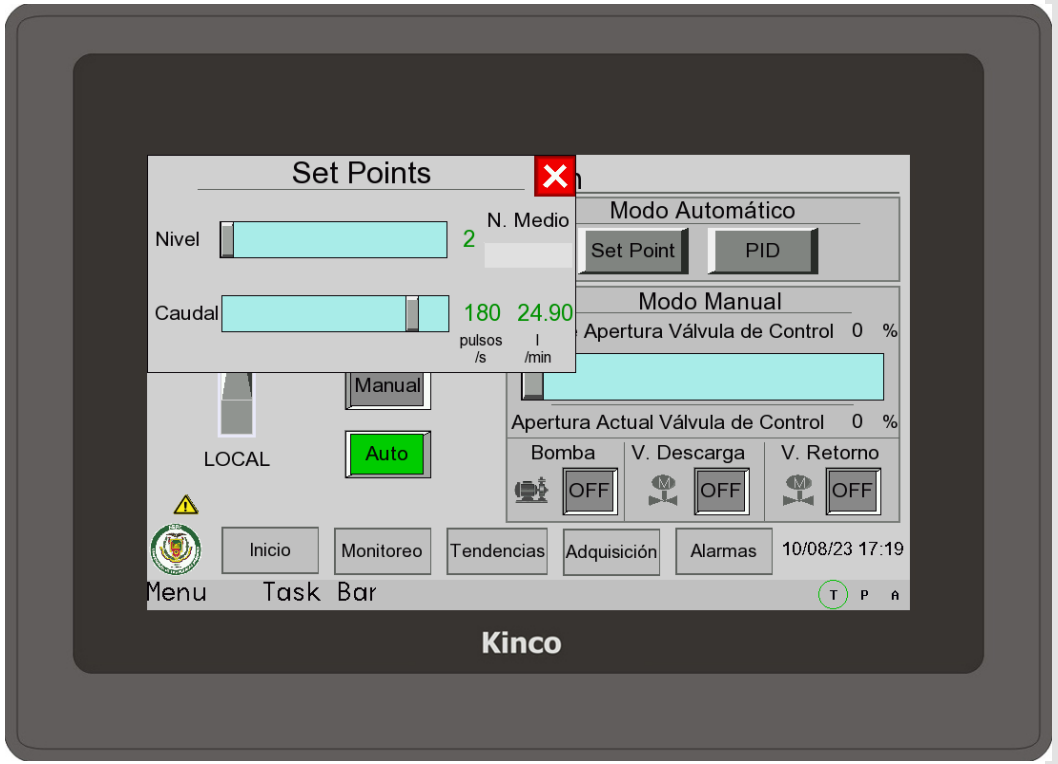
Conclusiones y

Recomendaciones

Verificación de Funcionamiento y Resultados

Modo Automático





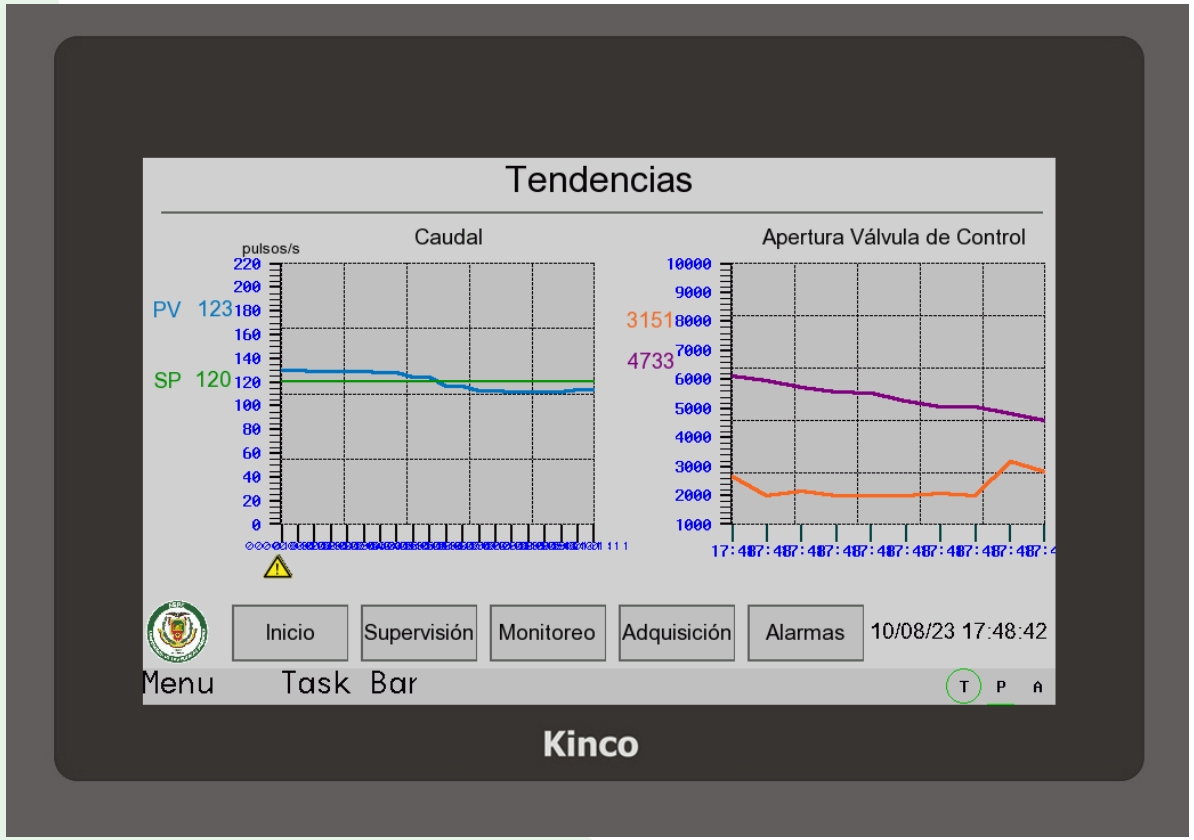
Verificación de Funcionamiento y Resultados

Introducción

Diseño

Integración y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones



Error de 2.5%

Calibración de nuevas constantes para el PID

$$Kp = 10.0$$

$$Ti = 2.0$$

$$Td = 1.0$$

Guías de Laboratorio

1. Guía 1. Reconocimiento de elementos del módulo didáctico
2. Guía 2. Modelo matemático del módulo didáctico
3. Guía 3. Control PID

Conclusiones

- El diseño general del equipo cumple con lo planteado en el objetivo general del proyecto y los requisitos, se logra implementar una lógica de control donde se incluyan el modo manual y automático del equipo, un paro de emergencia, un controlador on/off para la variable nivel cuyo actuador es la bomba y un controlador PID para la variable caudal, cuyo actuador es una válvula de bola proporcional motorizada. Además, se logra monitorear todo el proceso a través de una HMI. Se establecen una guía de prácticas básicas que podrán ser usadas por los estudiantes, estas permiten identificar los elementos de todo el módulo, observar cuál es modelo matemático de la planta, poder obtener y verificar el funcionamiento del controlador PID.

- Para poder leer el valor de los sensores de flujo en el PLC, se tuvo que realizar una placa PCB para acondicionar la señal usado un optoacoplador, debido a que estos entregaban trenes de pulsos de 0 a 5V, mientras que el PLC, idealmente lee señales de 0 a 24V, aunque con la hoja de datos se verifica que la lógica 0 hasta 5V y la lógica 1, desde los 11V.

- Para los sensores de flujo, una vez obtenida la señal en el rango correcto de voltaje, se configuro de manera adecuada el PLC donde se activó los contadores rápidos (HSC) para poder obtener los pulsos por segundo, y luego trabajar con estos valores.

Conclusiones

- Con la ayuda de pruebas experimentales, se logró calibrar el sensor de flujo de manera que permita obtener el valor de caudal correcto en litros por minuto, para el sensor de 1" este valor fue de 5.03 y para el sensor de 1/2" este valor fue de 7.23.

- Con el cálculo de caudal respecto al volumen de tanque, tubería de vaciado y tiempo de llenado se obtuvo un valor de 28.674 L/min, dicho valor fue aproximadamente cercano al valor obtenido en la programación Ladder cuando se hizo la transformación de pulsos/s a l/min con la válvula de control en una posición de apertura cercana al 100%.

- Para la válvula de control, el fabricante indica que la válvula trabaja en un rango de 0 a 10V, sin embargo, al realizar las pruebas, se determina que el rango de trabajo de la válvula es de 2V (completamente cerrada) y 9.9V (completamente abierta), además la señal de control como de retroalimentación, que se debe enviar y leer desde el PLC, es en milivoltios.

- Para poder enviar información desde el PLC hacia el HMI, o viceversa, se debe configurar de manera adecuada el espacio de memoria a usarse, en este caso, el área de memoria V, fue el correcto a usarse debido a que es el área de memoria retentiva del equipo.

Introducción

Diseño

Integración y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Con la ayuda de la HMI, es posible modificar algunos parámetros directamente sin tener que modificar la programación Ladder del PLC, se logra establecer el set point para nivel (nivel medio o alto) y para el caudal (0 a 210 pulsos/s), además de los valores del controlador PID (Kp, Ti y Td). Igualmente, para el caudal, se puede visualizar el valor en litros/min.

- Dentro del programa del PLC se usan bloques de escalamiento, como es en el modo manual, para la apertura y cierre de la válvula, en este caso se lo realiza en un porcentaje del 0 a 100%, que en la señal del proceso es 2000 a 9900 milivoltios.

- El tablero eléctrico del equipo es montado de manera que se asemeje lo más cerca posible a lo que es un entorno industrial, así como lo es el uso de un PLC y una HMI, con estos últimos, los estudiantes tendrán la posibilidad de diseñar sus propias lógicas programación, usando esquemas como Grafcet, y así mismo poder manipular de manera directa los valores de las variables nivel y caudal, que son muy usadas en la instrumentación y control de procesos en la industria.

Introducción

Diseño

Integración y

Resultados

Conclusiones y

Recomendaciones

Recomendaciones

- Revisar el manual de usuario y seguir las instrucciones de uso, para la activación, funcionamiento, programación, medidas de seguridad y mantenimiento del módulo didáctico, así como para lograr un buen rendimiento del módulo.

- Para lograr que el módulo didáctico sea más eficiente se recomienda, implementar una medición de nivel continua en el tanque de control, esto puede ser con un sensor ultrasónico, que permite conocer el nivel actual del agua a lo largo de todo el tanque.

- La lógica de control que rige a la lógica de programación en lenguaje Ladder del PLC se puede modificar de manera que, exista otro modo de funcionamiento del equipo, especialmente en el modo automático.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN