



**FACULTAD DE
INGENIERÍA
MECÁNICA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
ESTRATEGIA DE CONTROL PARA UN
MODELO NO LINEAL APLICADO A UN
SISTEMA MULTITANQUES EN
PROCESOS INDUSTRIALES, BASADO
EN ALGORITMOS GENÉTICOS**

JOSÉ ANTONIO TOLENTINO VELIZ

2019



Contenido

- ◆ 1. Problema de Investigación.....●
- ◆ 2. Fundamentación Teórica.....●
- ◆ 3. Hipótesis.....●
- ◆ 4. Metodología.....●
5. Resultados y Discusión.....●
6. Conclusiones y Recomendaciones.....●

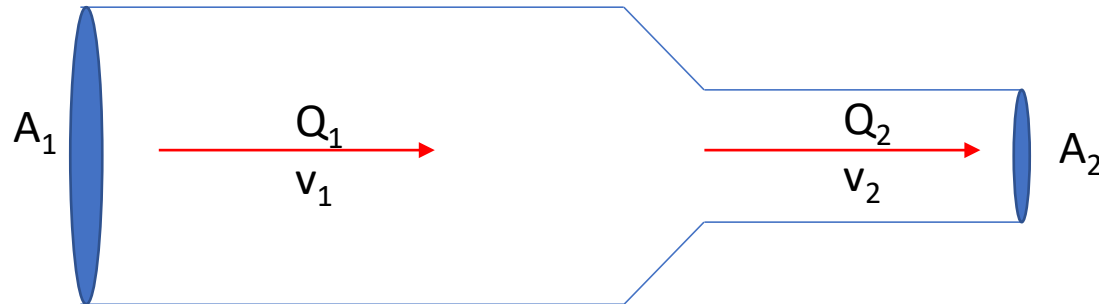
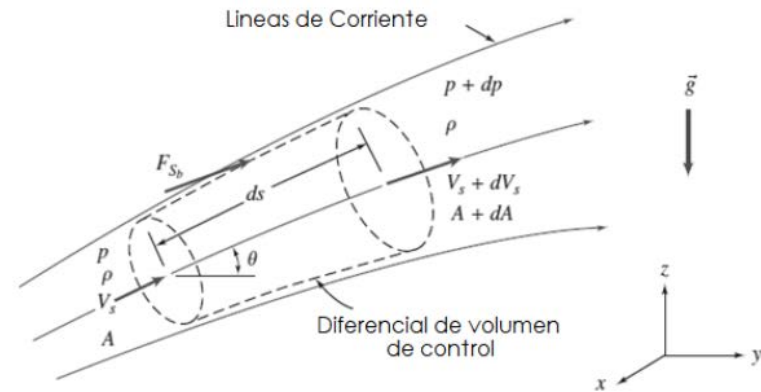


2. Fundamentación Teórica

Ecuación de la continuidad

Condiciones:

- 1 • Flujo estable
- 2 • Sin fricción
- 3 • Flujo en una línea de corriente
- 4 • Flujo incomprensible



$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

1. Problema de Investigación

2. **Fundamentación Teórica**

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

5. Resultados y Discusión

6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Ecuación de Bernoulli

Daniel Bernoulli estableció este principio en su libro Hidrodinámica, (1738).



Condiciones:

1

- Flujo estable

2

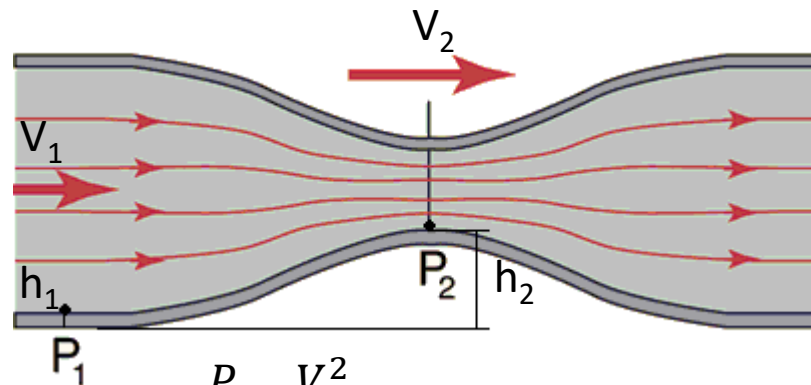
- Sin fricción

3

- Flujo en una línea de corriente

4

- Flujo incompresible



$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gh = cte$$

1. Problema de Investigación
2. **Fundamentación Teórica**
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Sistemas de ecuaciones lineales

Satisface las siguientes propiedades:

1. Aditividad
2. Homogeneidad

$$f(x+y) = f(x) + f(y)$$

$$f(\alpha x) = \alpha f(x)$$

Su espacio-estados:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x, u) \\ y &= h(x, u)\end{aligned}$$

Lineal

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}$$

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones

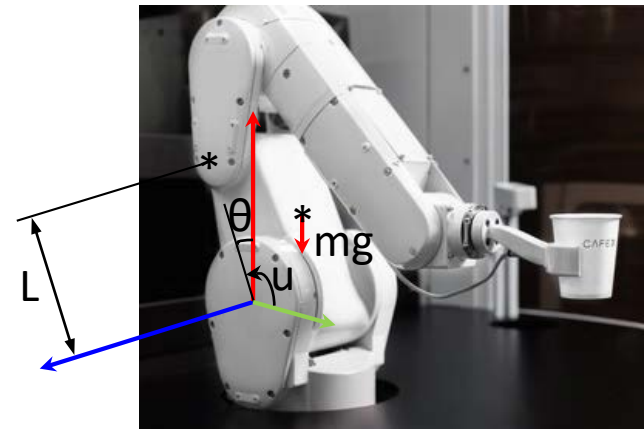


2. Fundamentación Teórica

Sistemas de ecuaciones no lineales

Los problemas físicos son implícitamente no lineales

Brazo robótico sin amortiguamiento:



$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{mgL}{J} \cos(x_1) + \frac{1}{J} u \\ y &= x_1\end{aligned}$$

Hace falta una linealización

Donde:

$$x_1 = \theta \quad y \quad \dot{x}_1 = x_2 = \dot{\theta}$$

J: momento de inercia

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Linealización por series de Taylor

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \frac{\partial^k f(x)}{\partial x^k} \bigg|_{x_0} (x - x_0)^k$$

Se deprecia los términos a partir del segundo orden.
Si $\dot{x} = f(x)$, entonces $f(x)$ se puede aproximar a:

$$\dot{x} \approx f(x_{op}) + \frac{\partial f(x)}{\partial x} \bigg|_{x_{op}} (x - x_{op})$$

1. Problema de Investigación
2. **Fundamentación Teórica**
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Linealización por series de Taylor

Para una matriz de espacio estados en su forma general, sistema MIMO:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{x}_{n-1}(t) \\ \dot{x}_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \\ f_2(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \\ \vdots \\ f_{n-1}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \\ f_n(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \end{bmatrix}$$

Donde:

$n \rightarrow \#$ de variables de estado

$m \rightarrow \#$ de entradas

1. Problema de Investigación
2. **Fundamentación Teórica**
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Linealización por series de Taylor

Para una matriz de espacio estados en su forma general:

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_{p-1}(t) \\ y_p(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \\ g_2(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \\ \vdots \\ g_{p-1}(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \\ g_p(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), \mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_m(t)) \end{bmatrix}$$

Donde:

$p \rightarrow \#$ de salidas

Resultado de la linealización:

$$\dot{X}_\delta(t) = AX_\delta + BU_\delta$$

$$Y_\delta(t) = CX_\delta + DU_\delta$$

1. Problema de Investigación

2. Fundamentación Teórica

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

5. Resultados y Discusión

6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Linealización por series de Taylor

Las constantes A, B, C y D del espacio-estados, se calculan como:

$$A = \left. \frac{\partial F_i}{\partial x_i} \right|_{x_{i_{op}}, \mu_{i_{op}}}, \dim(A) = (n \times n)$$

$$B = \left. \frac{\partial F_i}{\partial \mu_i} \right|_{x_{i_{op}}, \mu_{i_{op}}}, \dim(B) = (n \times m)$$

$$C = \left. \frac{\partial G_i}{\partial x_i} \right|_{x_{i_{op}}, \mu_{i_{op}}}, \dim(C) = (p \times n)$$

$$D = \left. \frac{\partial G_i}{\partial \mu_i} \right|_{x_{i_{op}}, \mu_{i_{op}}}, \dim(D) = (p \times m)$$

1. Problema de Investigación

2. **Fundamentación Teórica**

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

5. Resultados y Discusión

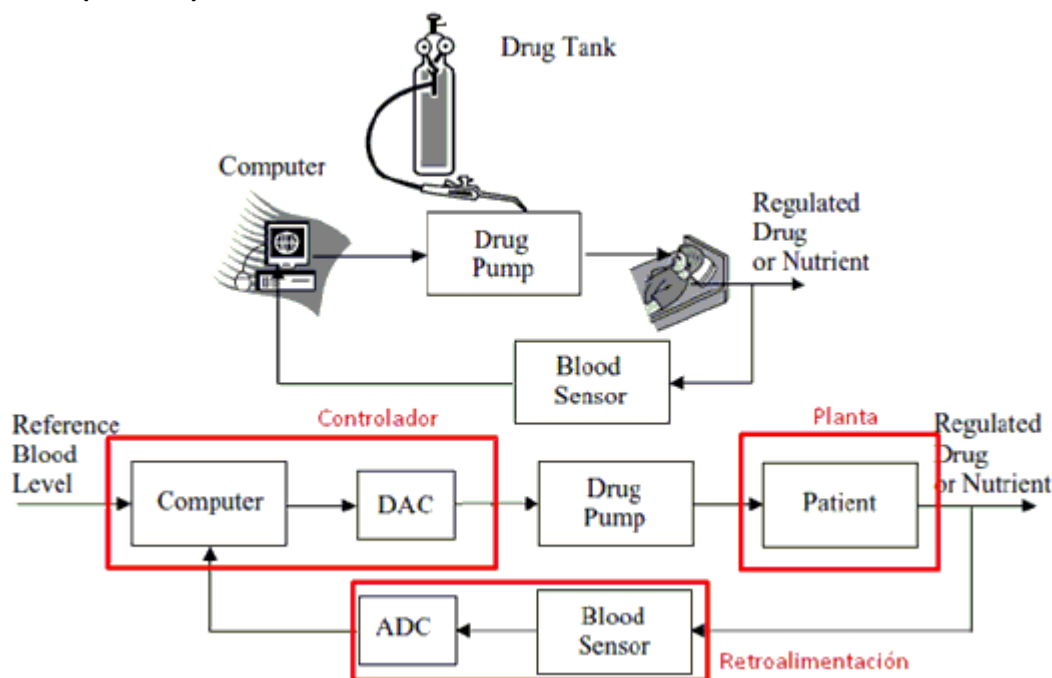
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Sistemas de Control

Sam Fadali (2009) compila una serie de aplicaciones de sistemas de control como el de: Suministro de medicamentos hacia un paciente, previamente estudiado por Carson and Deutsch (1992)



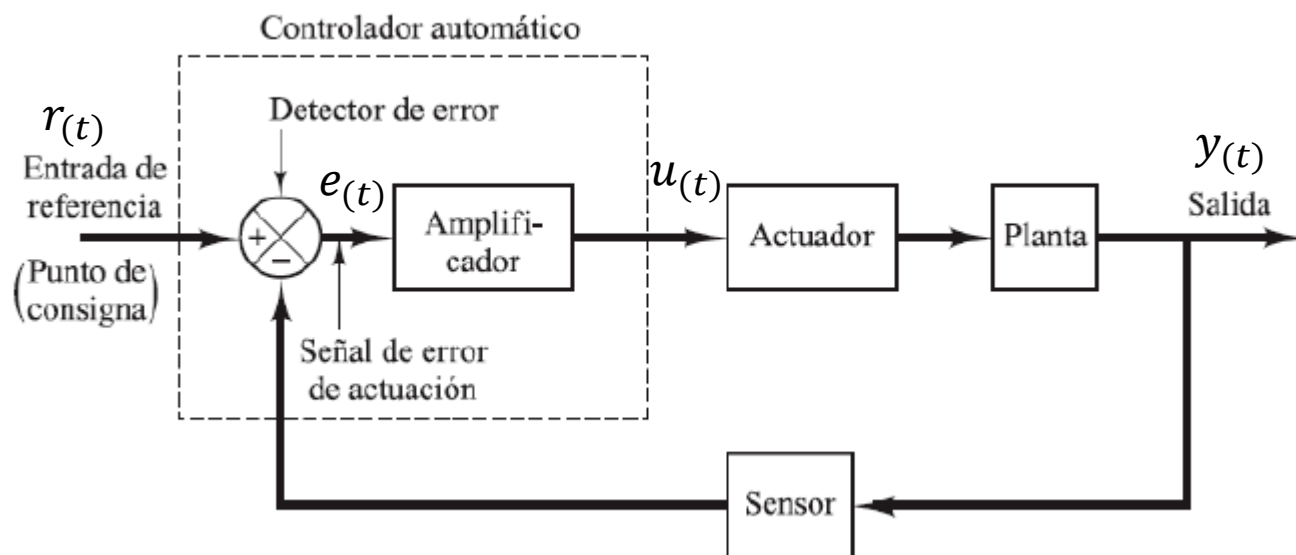
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Sistemas de Control

K. Ogata propone una versión simplificada del sistema de control:



Donde:

$e(t) = r(t) - y(t)$: Error

$u(t)$: Señal de control

1. Problema de Investigación

2. Fundamentación Teórica

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

5. Resultados y Discusión

6. Conclusiones y Recomendaciones



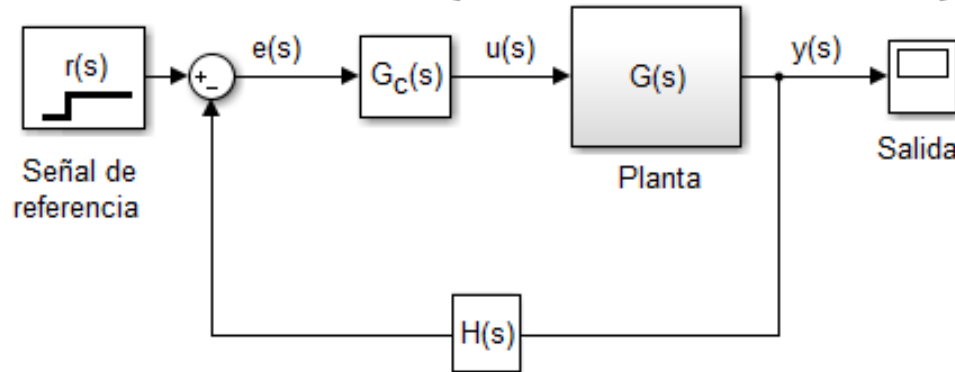
2. Fundamentación Teórica

Sistemas de Control

Métodos de
Sintonización

- Ziegler y Nichols
- Pidtune
- AG
- Otros

- PID
- MPC
- Control Adaptivo
- No lineal
- Robusto
- Redes neuronales, etc.



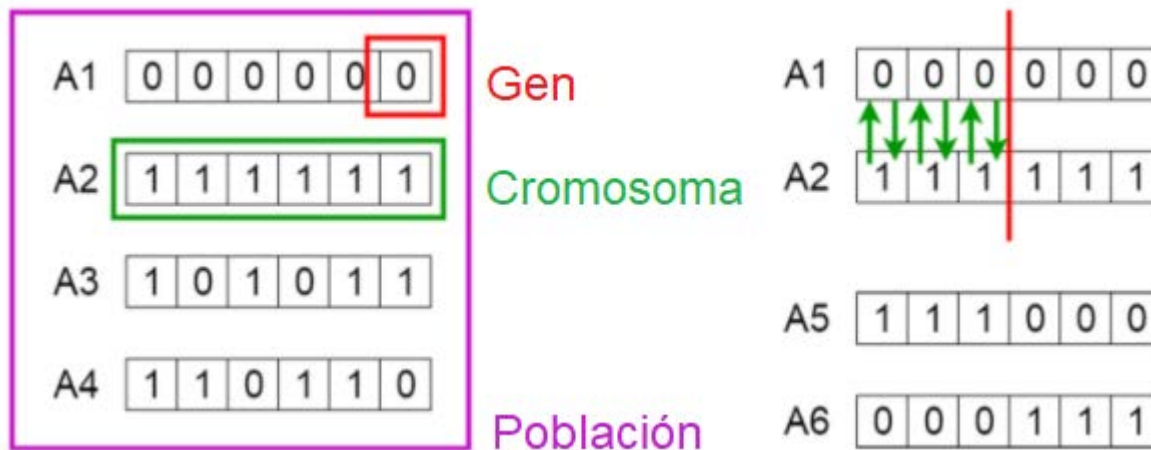
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



2. Fundamentación Teórica

Algoritmos Genéticos (AG)

Frank Dieterle, en su libro Fundamentos del Análisis multivariable de datos, presenta un diagrama simplificado AG basado en el libro de John Holland, Análisis de sistemas naturales y artificiales (2015).

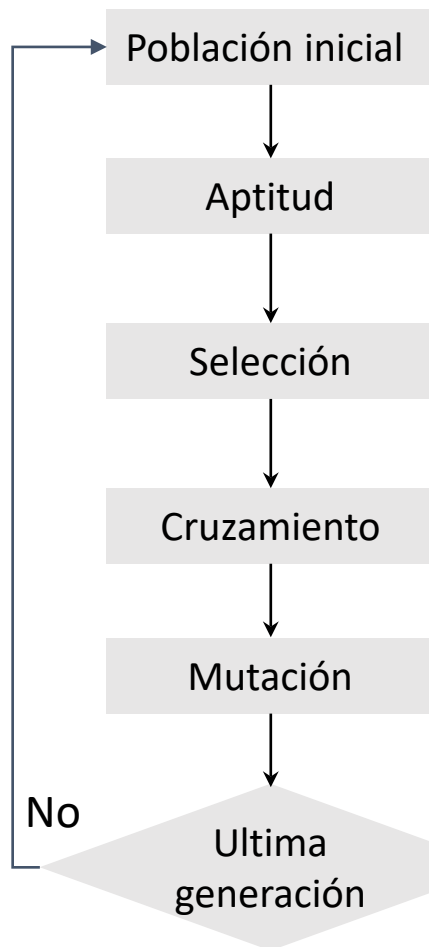


1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones

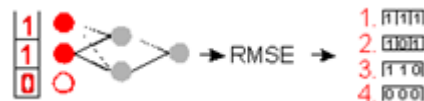


2. Fundamentación Teórica

Diagrama simplificado del Algoritmo Genético



Gen Cromosoma
 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1
 Cadena



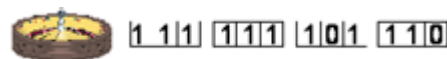
Función objetivo

$$MSE = \frac{1}{t} \int_0^{\tau} (e(t))^2 dt$$

$$IAE = \int_0^{\tau} |e(t)| dt \quad ISE = \int_0^{\tau} e(t)^2 dt$$

$$ITSE = \int_0^{\tau} t e(t)^2 dt$$

$$ITAE = \int_0^{\tau} t |e(t)| dt$$



Solución final
 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1

1. Problema de Investigación

2. Fundamentación Teórica

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

5. Resultados y Discusión

6. Conclusiones y Recomendaciones



3. Hipótesis y Variables

HIPÓTESIS GENERAL

Los módulos industriales de control de nivel pueden ser adaptados para el entrenamiento y estudio de un sistema de control en los cursos relacionados a Control y procesos dentro de la facultad de Ingeniería Mecánica.

HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

1. Las conexiones de sensores y actuadores requerirán un diseño eléctrico y electrónico que sirva de interfaz entre los controladores y los dispositivos mencionados.
2. La eficiencia de los algoritmos de control dependerán de la manipulación adecuada y la limitación de las variables de ganancia del control usado según la estrategia de control.

VARIABLE INDEPENDIENTE

- Necesidad de contar con más módulos de control industriales.

VARIABLE DEPENDIENTE

- Entrenamiento de los alumnos en el área de control y procesos.

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Partes:

1

• Mecánica

2

• Electrónica

3

• Eléctrica

4

• Proceso y Control

- Sistema de tanques
- Estructura soporte
- Sistema de tuberías
- Servoválvulas
- Panel de control

- Acondicionamiento de señales

- Conexión del panel de control, sensores y actuadores

- Estrategias de control

Hipótesis de planeamiento de IBR de conjunto de componentes del Molino Laminador $U_{inf} = U_{sup}$ $\Delta D_{jt} = cte$ C_r, R_j y Z_{jt}

1. Problema de Investigación

2. Fundamentación Teórica

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

5. Resultados y Discusión

6. Conclusiones y Recomendaciones

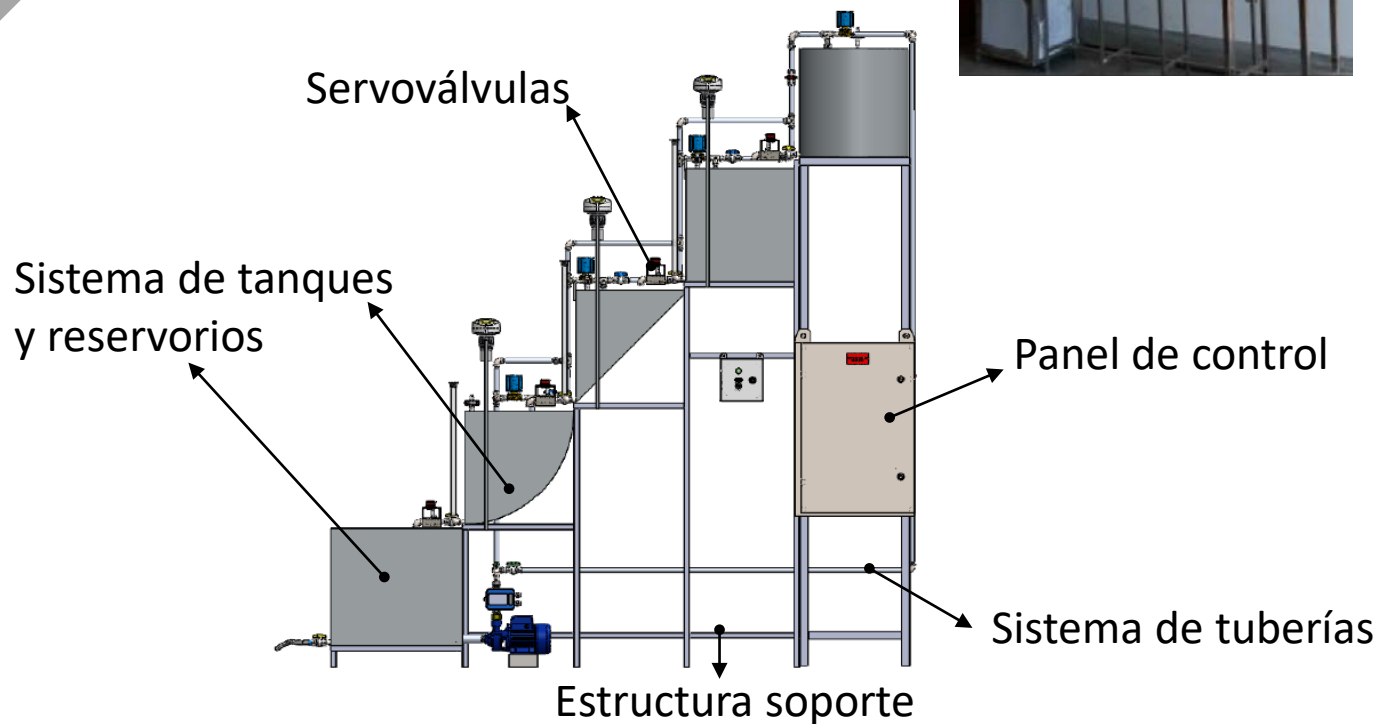


4. Metodología

Partes:

1

• Mecánica



Hipótesis de utilidad del modulo, el diseño de la estructura permite la carga producida por el peso del sistema de tanques.

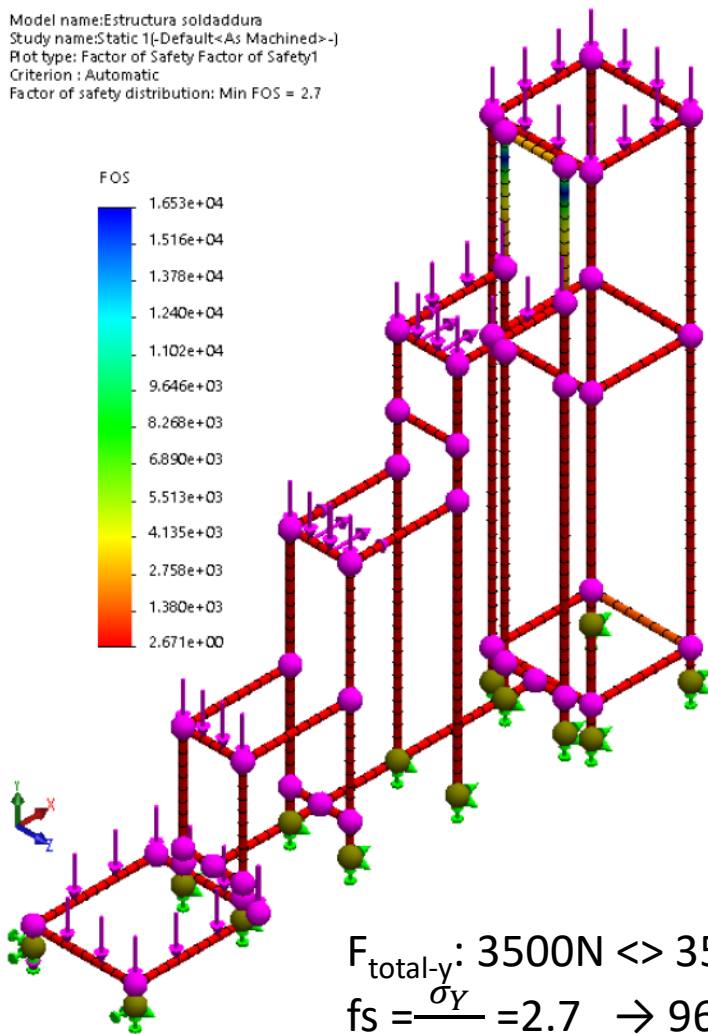
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Factor de seguridad

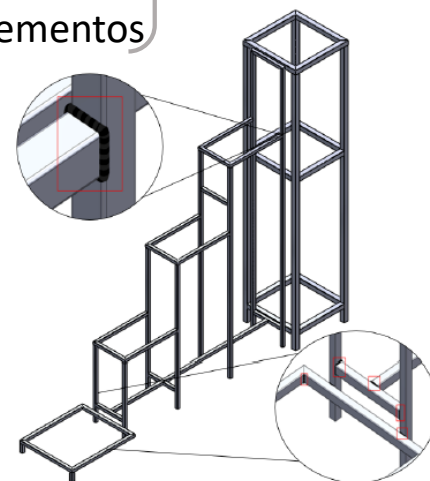
Model name: Estructura soldadura
Study name: Static 1(-Default<As Machined>-)
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
Criterion : Automatic
Factor of safety distribution: Min FOS = 2.7



$$F_{\text{total-y}}: 3500\text{N} \leftrightarrow 357\text{kg}$$

$$fs = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM}} = 2.7 \rightarrow 964\text{kg}$$

- Material:
Acero inox. A36 y
cordones de soldadura
- Cargas
- Tamaño del elemento:
1.2cm, 3394 elementos



Cargas en (N):

External Loads	
Force-1	(:Per item: -1,744.96356 N:)
Force-2	(:Per item: 600.9721758 N:)
Force-3	(:Per item: 397.305 N:)
Force-4	(:Per item: 765.18 N:)
Force-5	(:Per item: -963.0944937 N:)
Force-6	(:Per item: -200 N:)
Force-7	(:Per item: -200 N:)

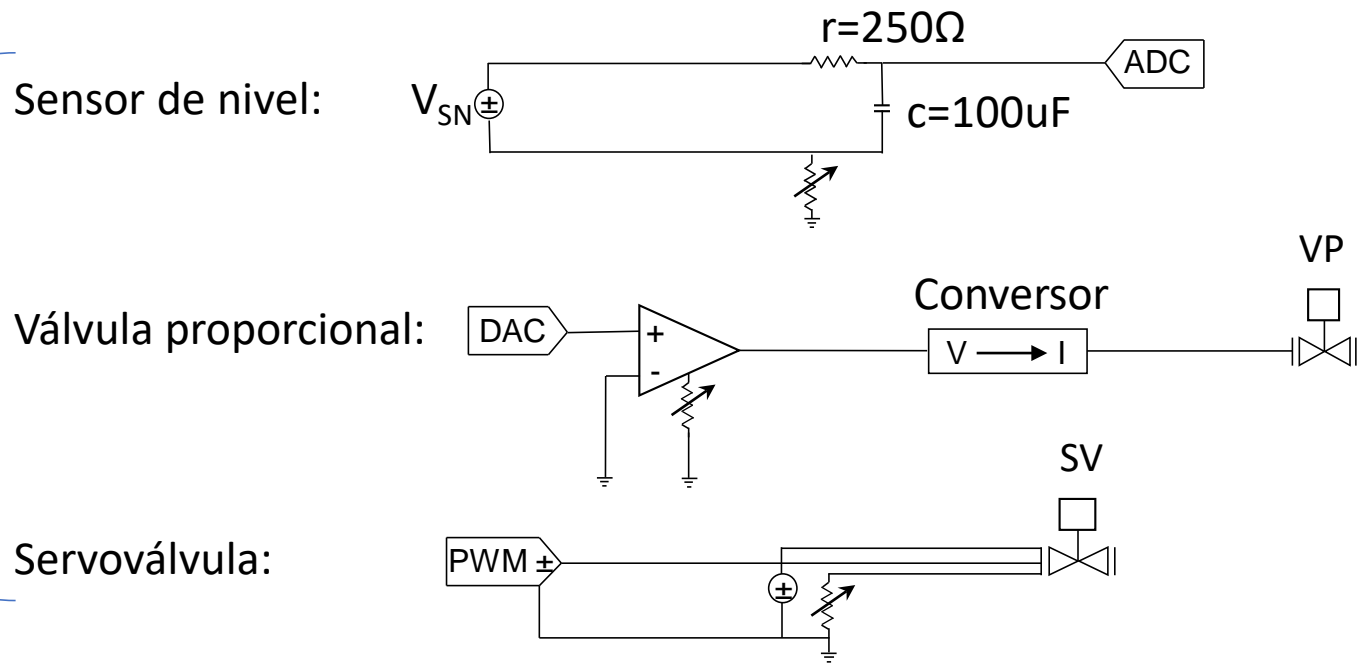
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Diseño Electrónico

Sistema de acondicionamiento de señales:



Hipótesis de utilidad del modulo, el diseño electrónico permite la adquisición de datos en torno a los rangos de operación de cada dispositivo electrónico usado

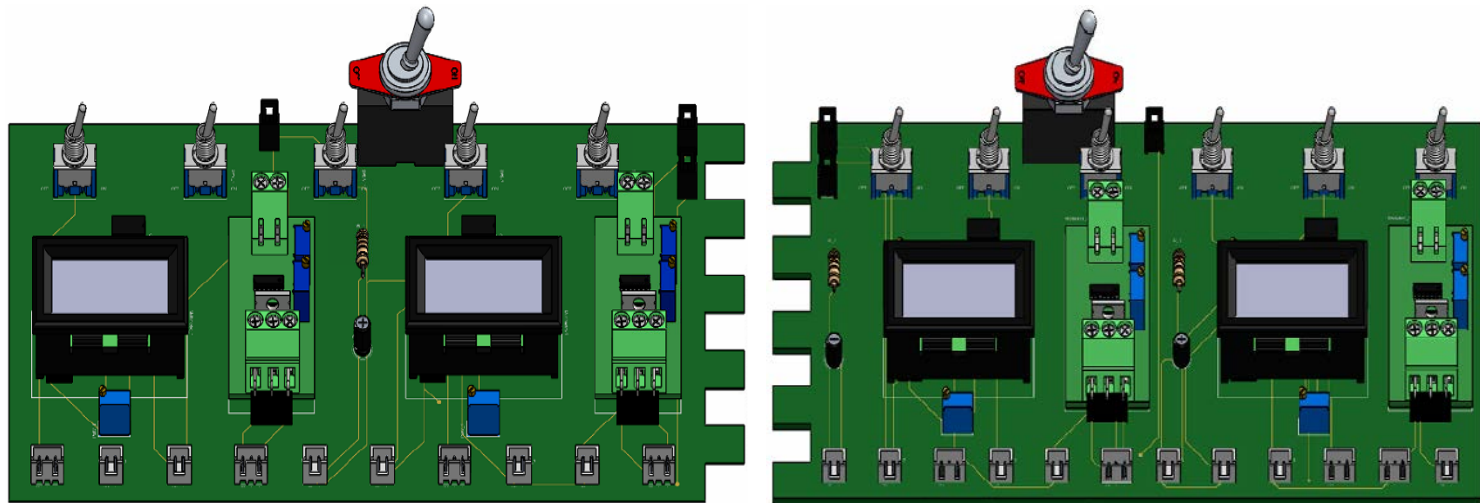
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Diseño Electrónico

Sistema de acondicionamiento de señales:



Hipótesis de utilidad del modulo, el diseño electrónico permite la adquisición de datos en torno a los rangos de operación de cada dispositivo electrónico usado

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Diseño Electrónico

Análisis térmico:

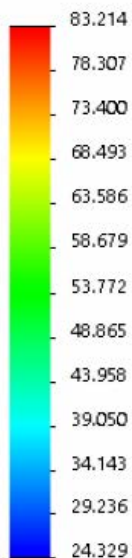
$$P_{opamp} = 15V \cdot 2.8mA = 0.042W$$

$$P_{Trimmer} = 24V \cdot 24mA = 0.576W$$

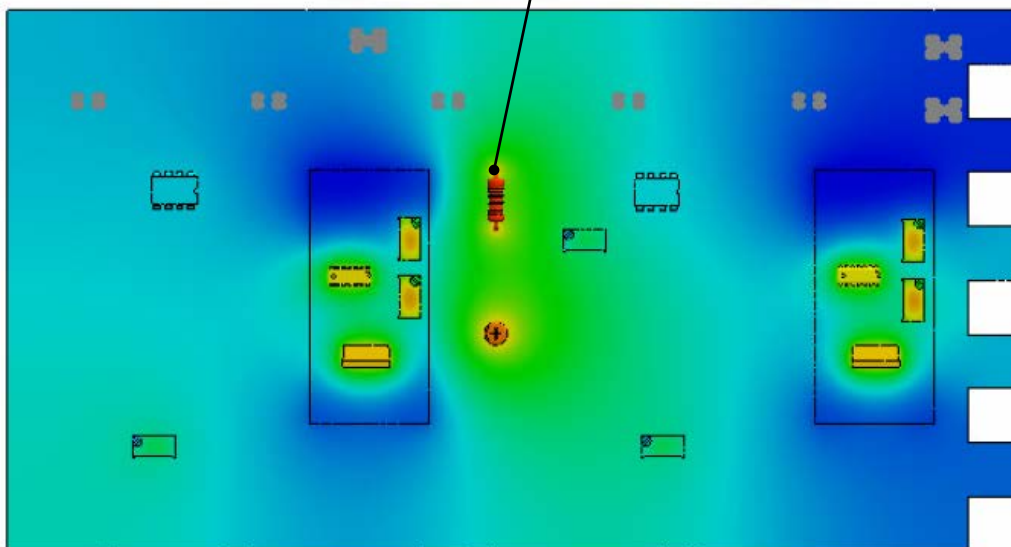
- Material
- Potencia
- Mallado fino
- Coeficiente de convección: 25 W/m²K

Model name: PCB Analysis termico
Study name: Thermal 1[-Default-]
Plot type: Thermal Thermal1
Time step: 1

Temp (Celsius)



T_{máx} = 83°C



$$P_{Condensador} = \frac{1}{2} \cdot (24V)^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0.288W$$

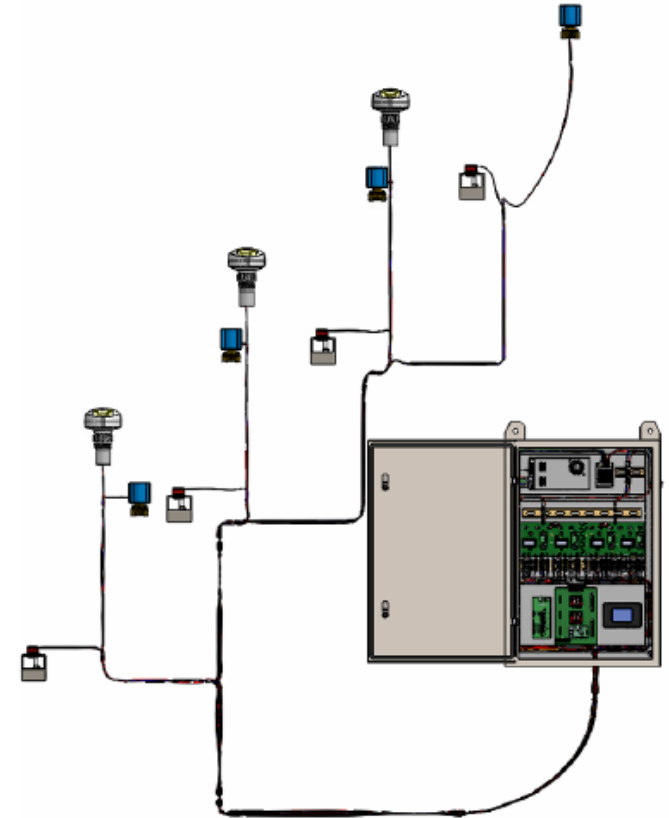
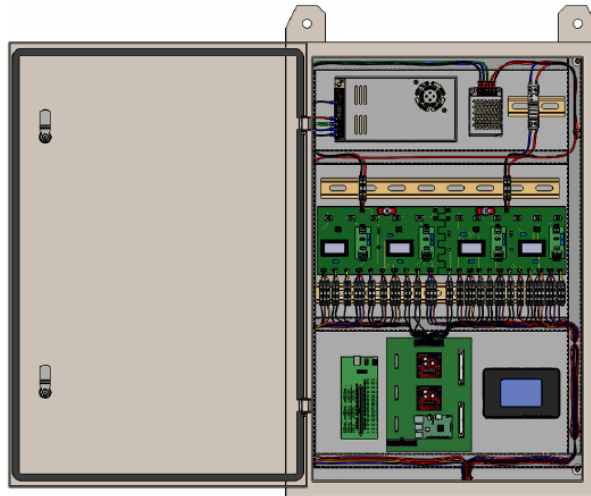
Hipótesis de utilidad del modulo, el diseño electrónico permite la adquisición de datos en torno a los rangos de operación de cada dispositivo electrónico usado

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Diseño Eléctrico



1

- Sistema de cableado eléctrico de sensores y actuadores externo.

2

- Sistema de cableado interno del panel de control

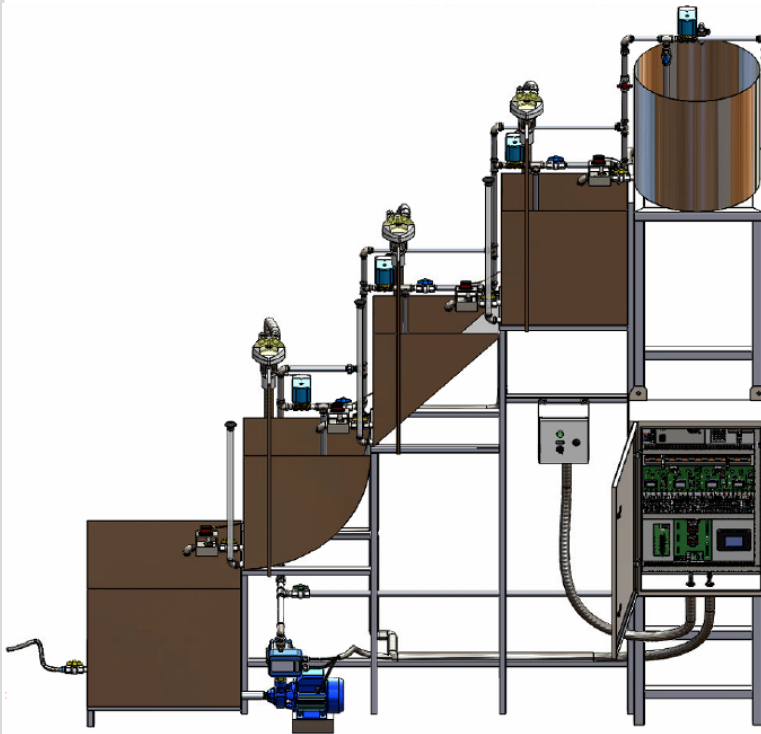
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Procesos

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones





4. Metodología

Procesos y Control

1

- Modelamiento matemático

2

- Linealización de la planta

3

- Implementación del control PI

4

- Estabilidad

5

- Control: Algoritmos Genéticos

6

- Control: Función Piddtune

1. Problema de Investigación

2. Fundamentación Teórica

3. Hipótesis y Variables

4. Metodología

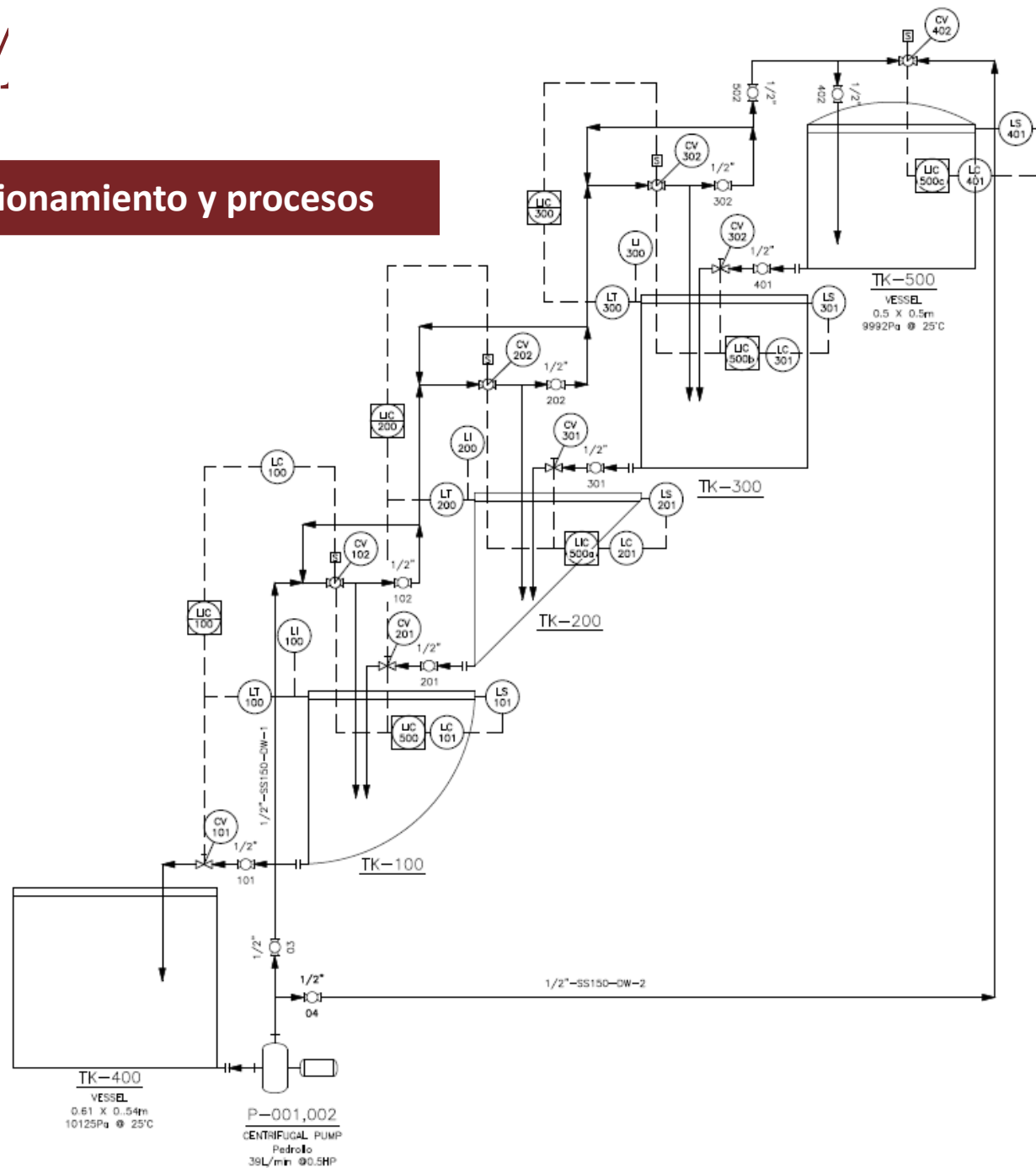
5. Resultados y Discusión

6. Conclusiones y Recomendaciones



4. M

Funcionamiento y procesos



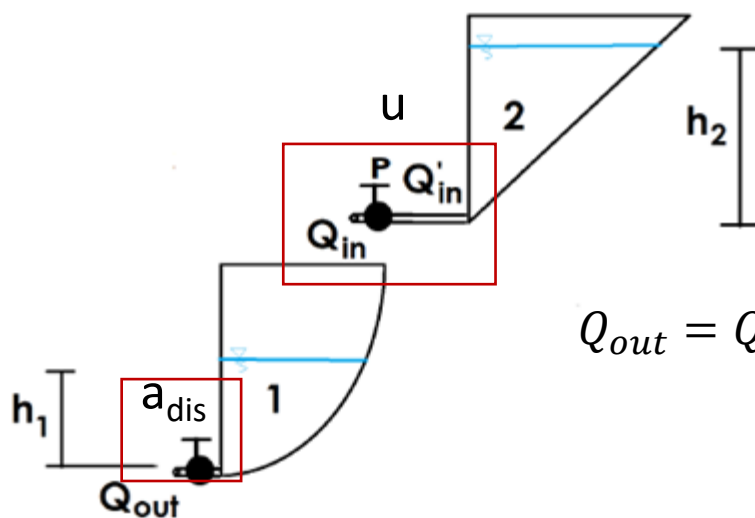
1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. **Metodología**
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Procesos Modelamiento Matemático

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



$$A_1 \frac{\partial h_1}{\partial t} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$A_1 \frac{\partial h_1}{\partial t} = Q_{salida,T} - Q_{salida,E}$$

$$Q_{out} = Q_{salida,E} = Q(a_{dis}, h_1)$$

Variable de estado/salida

Apertura de la válvula de disturbio/perturbación

$$A_1 \frac{\partial h_1}{\partial t} = \mu - a_{dis}^b \cdot Q(h_1)$$

$$\beta_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{H_E - h_1}{H_E}\right)^2} \frac{\partial h_1}{\partial t} = \mu - a_{dis}^b \cdot Q(h_1)$$

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} = \frac{\mu - a_{dis}^b \cdot Q(h_1)}{\beta_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{H_E - h_1}{H_E}\right)^2}}$$

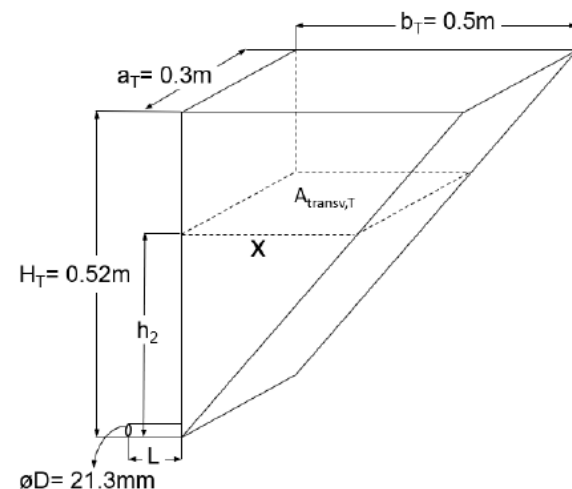
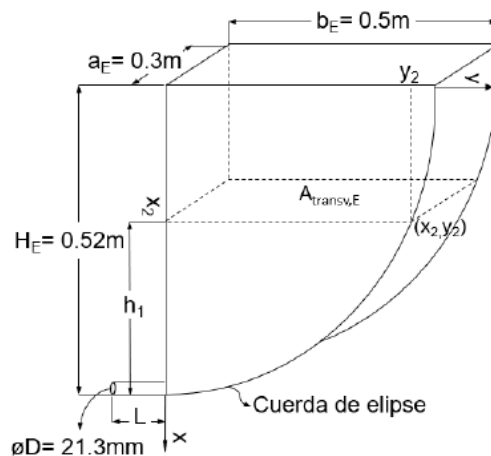


4. Metodología

Control y Procesos Linealización de la planta

Sistema SISO:
Control en el
tanque elíptico

$$\begin{aligned} a_E &= 0.3\text{m} \\ b_E &= 0.5\text{m} \\ \beta_1 &= a_E * b_E \end{aligned}$$



$$a_{dis}^{1.828} \cdot (7.0262h_1^3 - 12.3003h_1^2 + 7.3441h_1 + 0.6001) \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial h_1}{\partial t} = \frac{\mu - a_{dis}^b \cdot Q(h_1)}{\beta_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{H_E - h_1}{H_E}\right)^2}} \\ y = h_1 \end{cases}$$

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Procesos Linealización de la planta

Después de aplicar Taylor, para cualquier punto de operación

$$A = -\frac{-a_{dis}^b \cdot (3h_{1op}^2 q_3 + 2h_{1op} q_2 + q_1)}{\beta_1 \sqrt{1 - \frac{(H_E - h_{1op})^2}{H_E^2}}} - \frac{[\mu_{op} - a_{dis}^b \cdot (q_3 h_{1op}^3 + q_2 h_{1op}^2 + q_1 h_{1op} + q_0)] [H_E - h_{1op}]}{\beta_1 H_E^2 \left(1 - \frac{(H_E - h_{1op})^2}{H_E^2}\right)^{3/2}}$$

$$B = \frac{1}{\beta_1 \sqrt{1 - \frac{(H_E - h_{1op})^2}{H_E^2}}}$$

Sistema linealizado con C=1 y D=0, parámetros obtenidos de Taylor

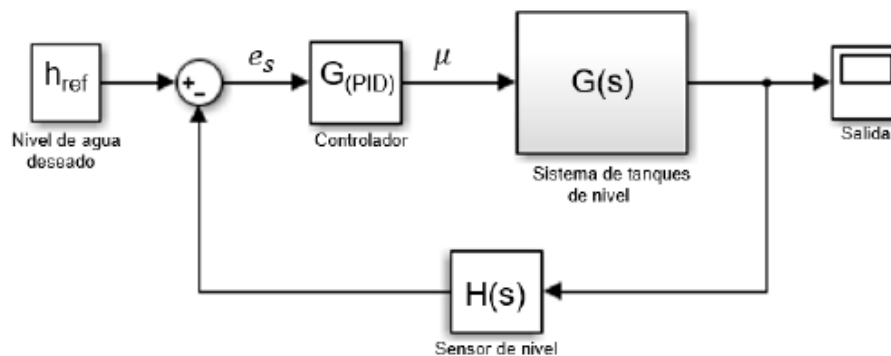
$$\begin{aligned} \dot{h}_{td} &= A \cdot h_{td} + B \cdot \mu_{td} \\ y &= C \cdot h_{td} + D \cdot \mu_{td} \end{aligned} \xrightarrow{\text{FT}} G(s) = \frac{B}{s - A}$$

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Procesos Linealización de la planta



Lazo de control

Planta $G(s)$ a
varios puntos
de operación.
 h_{1op}



$h_{1op}(m)$	A	B	$G(s)$
0.1	-0.00073485	11.307	$\frac{11.307}{s + 0.000734845}$
0.2	-0.00035249	8.4578	$\frac{8.4578}{s + 0.000352486}$
0.25	-0.00024989	7.80061	$\frac{7.80061}{s + 0.000249894}$
0.35	-0.00011842	7.05429	$\frac{7.05429}{s + 0.000118423}$
0.4	-0.000076601	6.8516	$\frac{6.8516}{s + 0.0000766012}$
0.45	-0.000046538	6.7279	$\frac{6.7279}{s + 0.0000465379}$
0.5	-0.000026677	6.6716	$\frac{6.6716}{s + 0.0000266775}$

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Proceso

Algoritmos Genéticos para el diseño del control

Función objetivo

$$t = 0 : dt : 0.1$$

$$Q = 1$$

$$R = 0.001$$

$$J = dt * \text{sum}(Q * (1 - y(:)).^2 + R * u(:).^2)$$

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. **Metodología**
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Proceso

Algoritmos Genéticos para el diseño del control

```
dt = 0.000001;  
PopSize = 25;  
MaxGenerations = 10;  
s = tf('s');  
%G = 1/(s*(s*s+s+1));  
Gs=n(2)/(s + d(2));  
options = optimoptions(@ga,'PopulationSize',PopSize,...  
    'MaxGenerations',MaxGenerations,'OutputFcn',@myfun);  
%[x,fval] = ga(@(K)pidtest(Gs,dt,K),3,-eye(3),...  
    zeros(3,1),[],[],[],[],[],options);  
[x,fval] = ga(@(K)pidtest(Gs,dt,K),2,-eye(2),...  
    zeros(2,1),[],[],[],[],[],options);  
%%  
Kpag=x(1)  
Kiag=x(2);  
%Kdag=x(3);  
Tix=Kpag/Kiag  
%Tdx=Kdag/Kpag  
%C_pid_fastx=pid(Kpag, Kiag, Kdag);  
C_pid_fastx=pid(Kpag, Kiag);%Kp, ki, kd  
T_pid_fastx = feedback(C_pid_fastx*mySys_tf,1);
```

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



4. Metodología

Control y Proceso

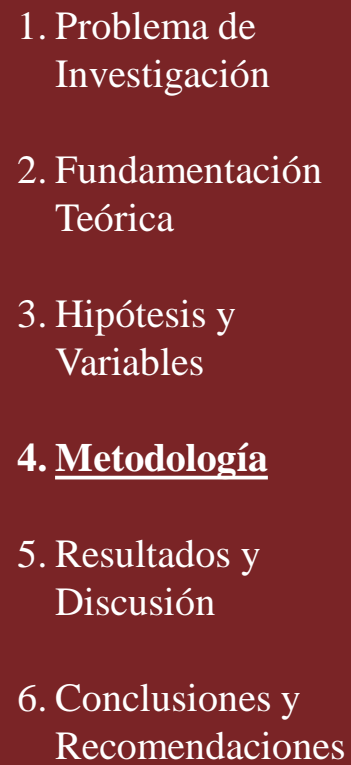
Función Pidtune para el diseño del control

```
syms h1d ud
htd=[h1d];
utd=[ud];
Hprima=(A*htd) + (B*utd);
Ysalida=(C*htd) + (D*utd);
[n,d]=ss2tf(A,B,C,D);
mySys_tf=tf(n,d)
[C_pid_fast,info] = pidtune(mySys_tf,'PID')
[Kp,Ti,Td] = pidstddata(C_pid_fast)
yz=c2d(mySys_tf,Ts,'zoh')
[numdxx,dendxx]=tfdata(yz,'v');
[A1,B1,C1,D1]=tf2ss(numdxx,dendxx);
%step(feedback(C_pid_fast*mySys_tf,1))
```

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. **Metodología**
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



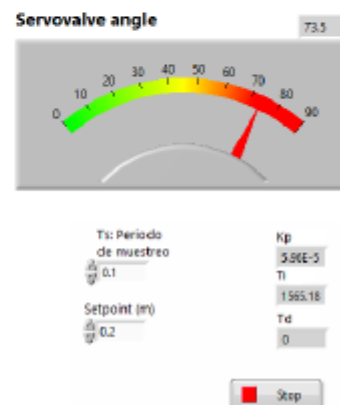
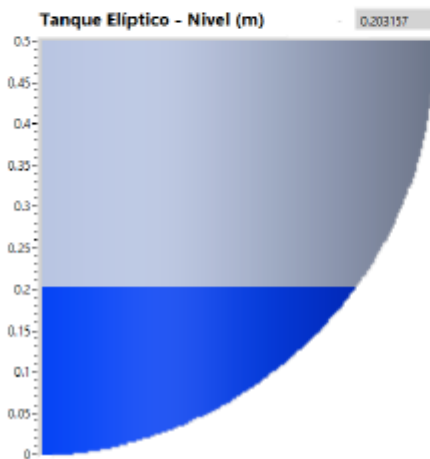
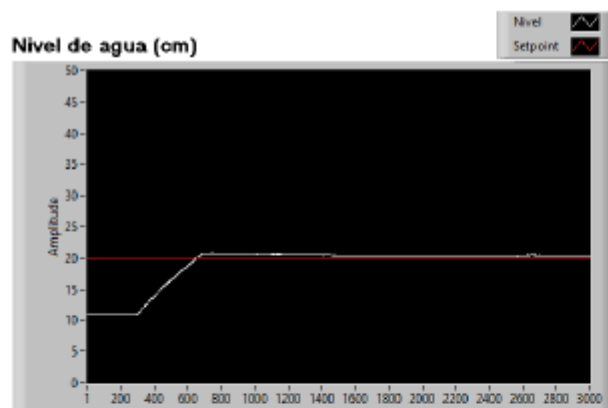
Función Pidtune para el diseño del control





5. Resultados y Discusión

Control Pidtune



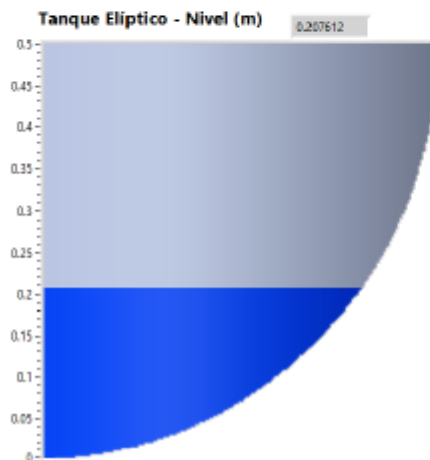
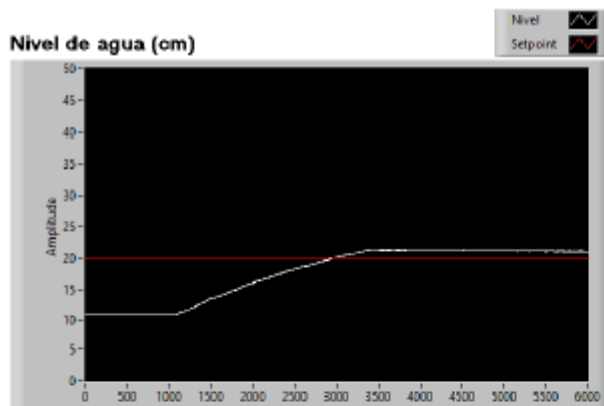
$Y_{ref} = 20\text{cm}$, $t_s = 2\text{min } 40\text{s}$, sobreimpulso = 20.61cm

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



5. Resultados y Discusión

Control Algoritmos Genéticos

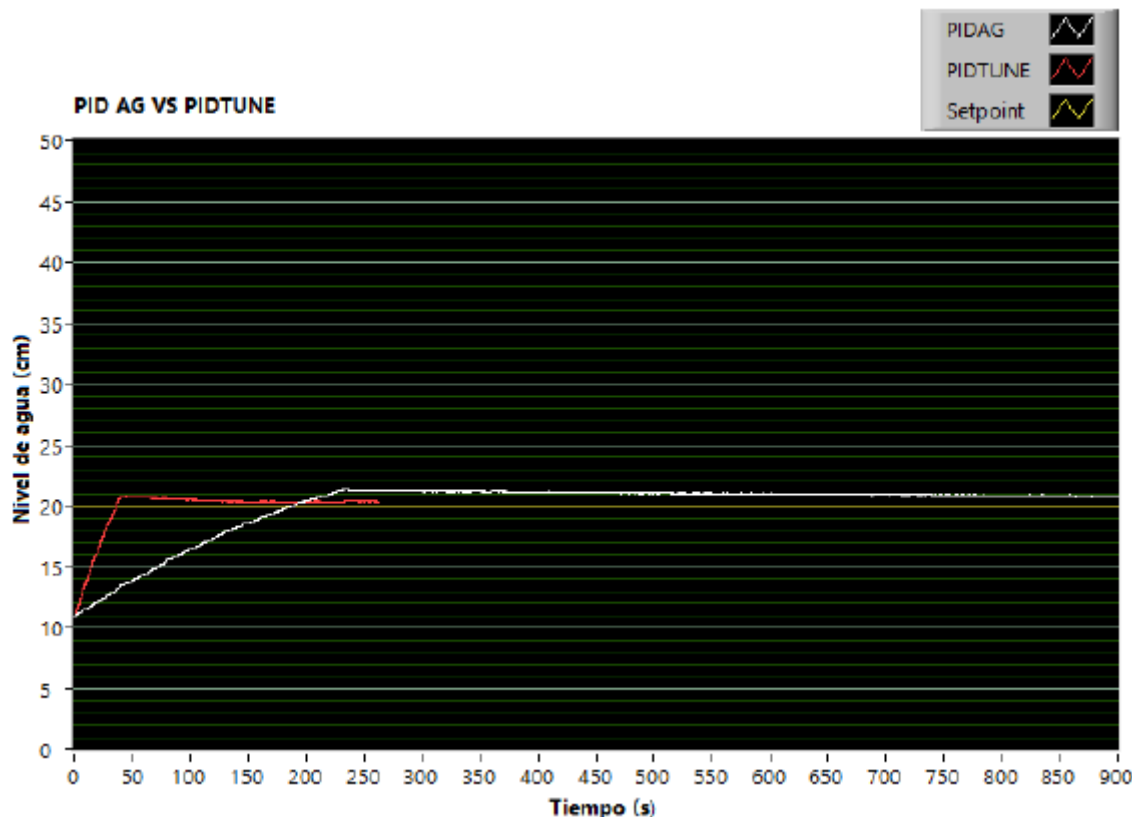


$Y_{ref} = 20\text{cm}$, $t_s = 5\text{min } 50\text{s}$, sobreimpulso = 21.06cm

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
- 5. Resultados y Discusión**
6. Conclusiones y Recomendaciones



5. Resultados y Discusión



El control PI de Pidtune es 3.75 más rápido para alcanzar el tiempo de establecimiento, que el PI con Algoritmos Genéticos para un punto de referencia de 20cm.

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



6. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se verifica un factor de seguridad de 2.6 en la estructura mecánica soporte.
- Se verifica que los componentes electrónicos de las tarjetas PCB no superan los 83°C.
- Se verifica que el control Pi de Pidtune es 5.2% más eficiente que el método de sintonización con Algoritmos Genéticos, en un punto de operación de 20cm.

Recomendaciones

- Se recomienda limitar las fronteras para la elección de los miembros de la población del Algoritmo Genético, ya que puede ser útil precisar en qué rango se puede encontrar los mejores candidatos para las ganancias del control en cada iteración.

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



6. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se verifica que el control PI de Pidtune es 3.75 más rápido para alcanzar el tiempo de establecimiento, que el PI con Algoritmos Genéticos para 20cm.
- Se verifica que la velocidad para alcanzar el tiempo pico por el control PI de Pidtune es 5.7 veces más rápido que cuando se hace uso del método de sintonización con Algoritmos Genéticos.

Recomendaciones

- Se recomienda limitar las fronteras para la elección de los miembros de la población del Algoritmo Genético.
- Se recomienda para una posterior investigación, analizar el control del sistema con múltiples entradas y salidas mediante el uso del Control no lineal.
- Se recomienda estudiar la posible existencia de un sistema de una entrada y múltiples salidas, a través del control de la velocidad de la bomba.

1. Problema de Investigación
2. Fundamentación Teórica
3. Hipótesis y Variables
4. Metodología
5. Resultados y Discusión
6. Conclusiones y Recomendaciones



**FACULTAD DE
INGENIERÍA
MECÁNICA**

Muchas Gracias