



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA HOT-PLATE PARA EL PROCESAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS, UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA, DESTINADA A BIOTECNOLOGÍA”.**

## **AUTORES:**

**LOACHAMÍN IZA, HENRY DAVID**

**ÑAUÑAY PUENTE, DIEGO FERNANDO**

**DIRECTOR: ING. TERNEUS, FRANCISCO**

**CODIRECTOR: DRA. PROAÑO, KARINA**

**SANGOLQUÍ, JULIO 2015**

# ÍNDICE

---

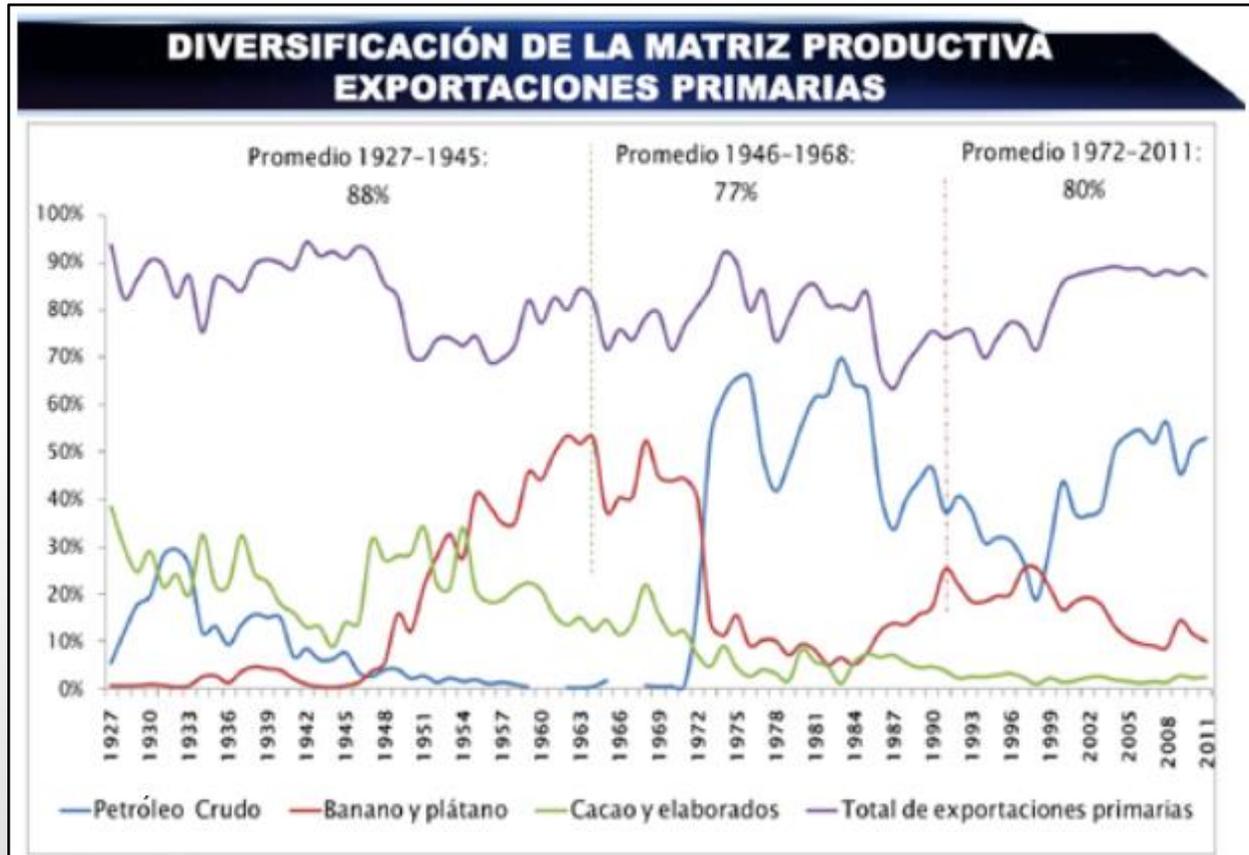
- Generalidades, objetivos y alcance del proyecto
- Marco teórico
- Diseño y simulación de equipo Hot Plate
- Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate
- Pruebas de funcionamiento
- Análisis económico
- Conclusiones y Recomendaciones

# ÍNDICE

---

- Generalidades, objetivos y alcance del proyecto 
- Marco teórico
- Diseño y simulación de equipo Hot Plate
- Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate
- Pruebas de funcionamiento
- Análisis económico
- Conclusiones y Recomendaciones

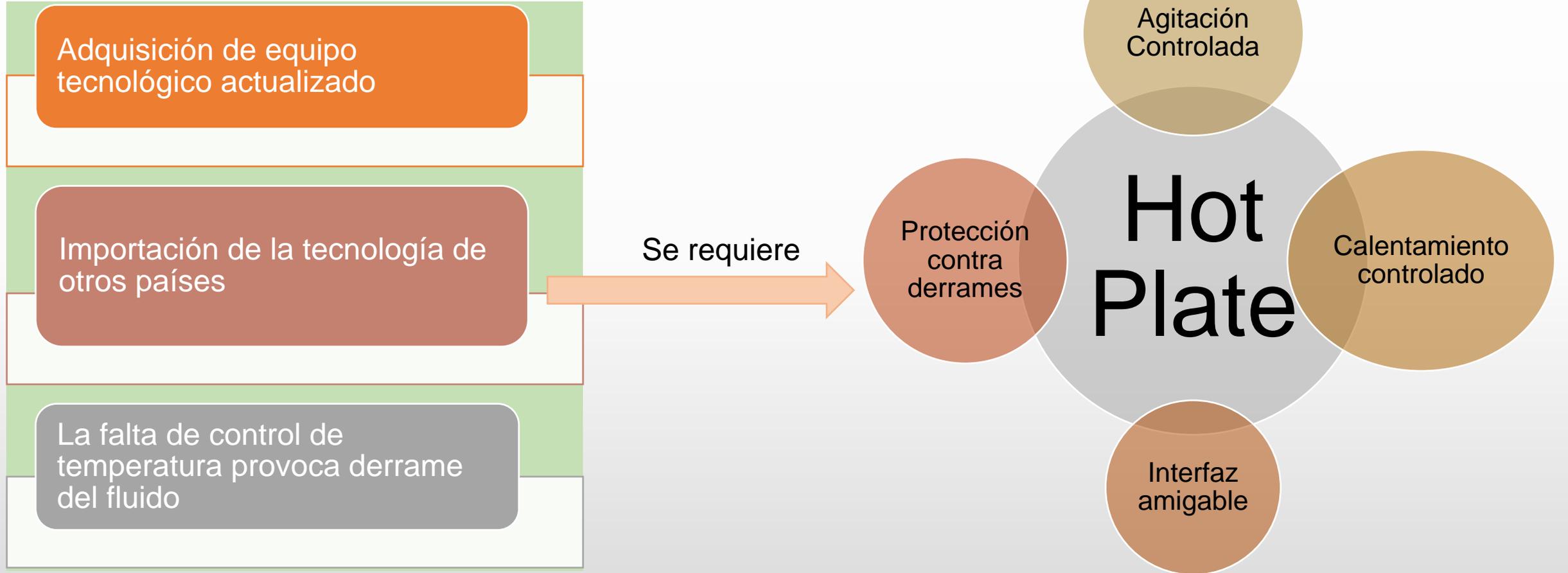
# ANTECEDENTES



- La demanda tecnológica en la industria ecuatoriana ha incentivado a los pequeños talleres metalmecánicos y eléctricos a innovar y generar desarrollo técnico en el país a pequeña escala
- “*El cambio de la Matriz Productiva*”



# Planteamiento del problema



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Equipos de  
última generación

Garantizar los  
resultados que se  
obtienen en las  
investigaciones

Herramientas de  
calidad para la  
investigación

Permitir el control  
de variables

Nueva tecnología con  
requerimientos de  
funcionamiento precisos

# OBJETIVOS

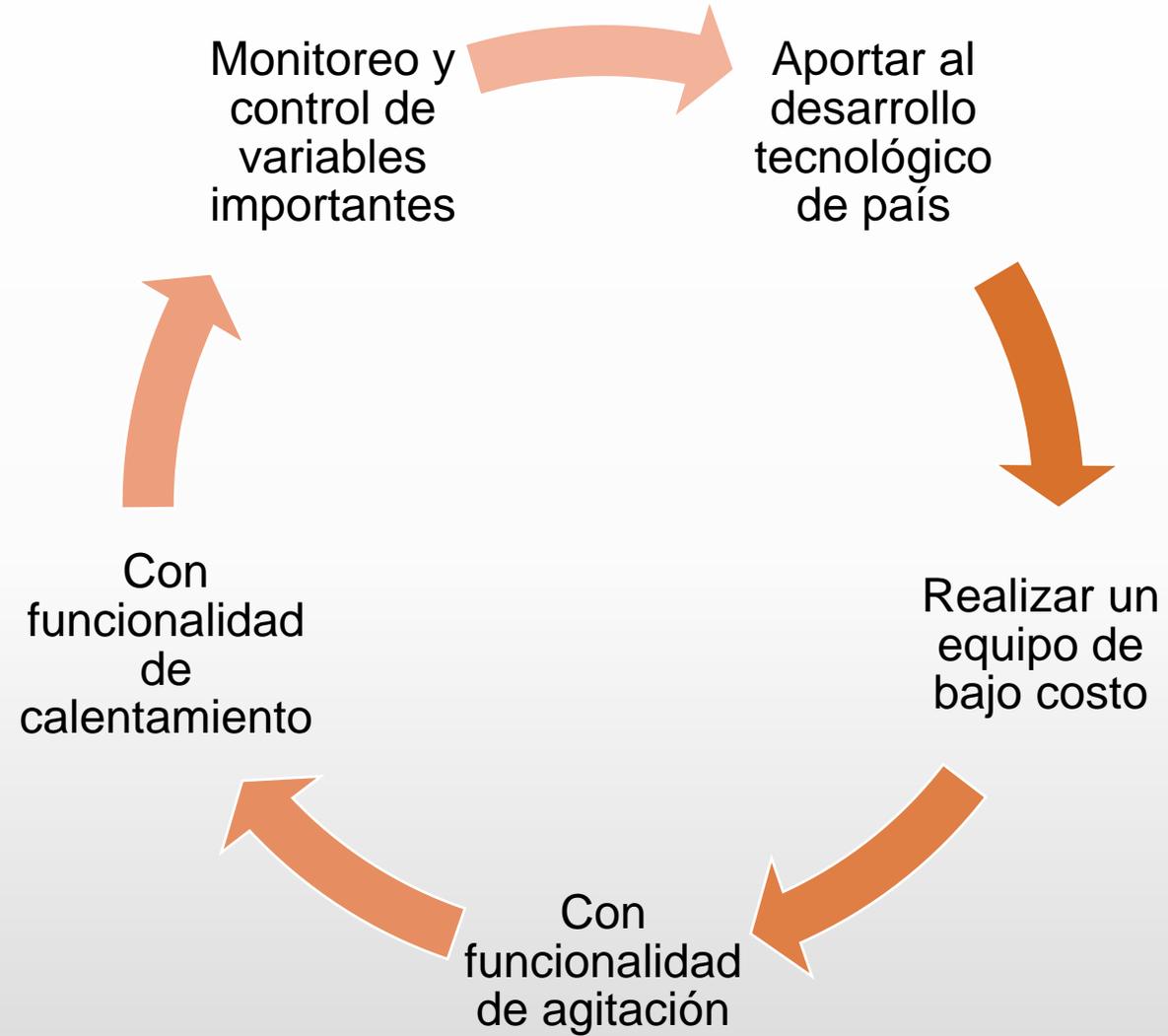
## GENERAL:

- Diseñar y construir una máquina Hot-Plate con sistemas de calentamiento, agitación y de temporización, para el procesamiento de sustancias químicas, utilizando lógica difusa y arduino para su control

## ESPECÍFICOS:

- Dimensionar y diseñar los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que permitan el correcto funcionamiento de los elementos de control de Temperatura y Velocidad de la máquina Hot-Plate.
- Automatizar el sistema a través de un controlador difuso que permita controlar las variables de temperatura y velocidad que se requieren en el sistema.
- Delinear e implementar una interfaz digital que permita el ingreso y la visualización de cada uno de las variables y parámetros sensados por el equipo.
- Desarrollar un sistema de alarmas auditivas y de mensajes de alerta, que sean amigables con el usuario del equipo con el fin de prevenir posibles accidentes y desperdicios de reactivos.

# ALCANCE



# ÍNDICE

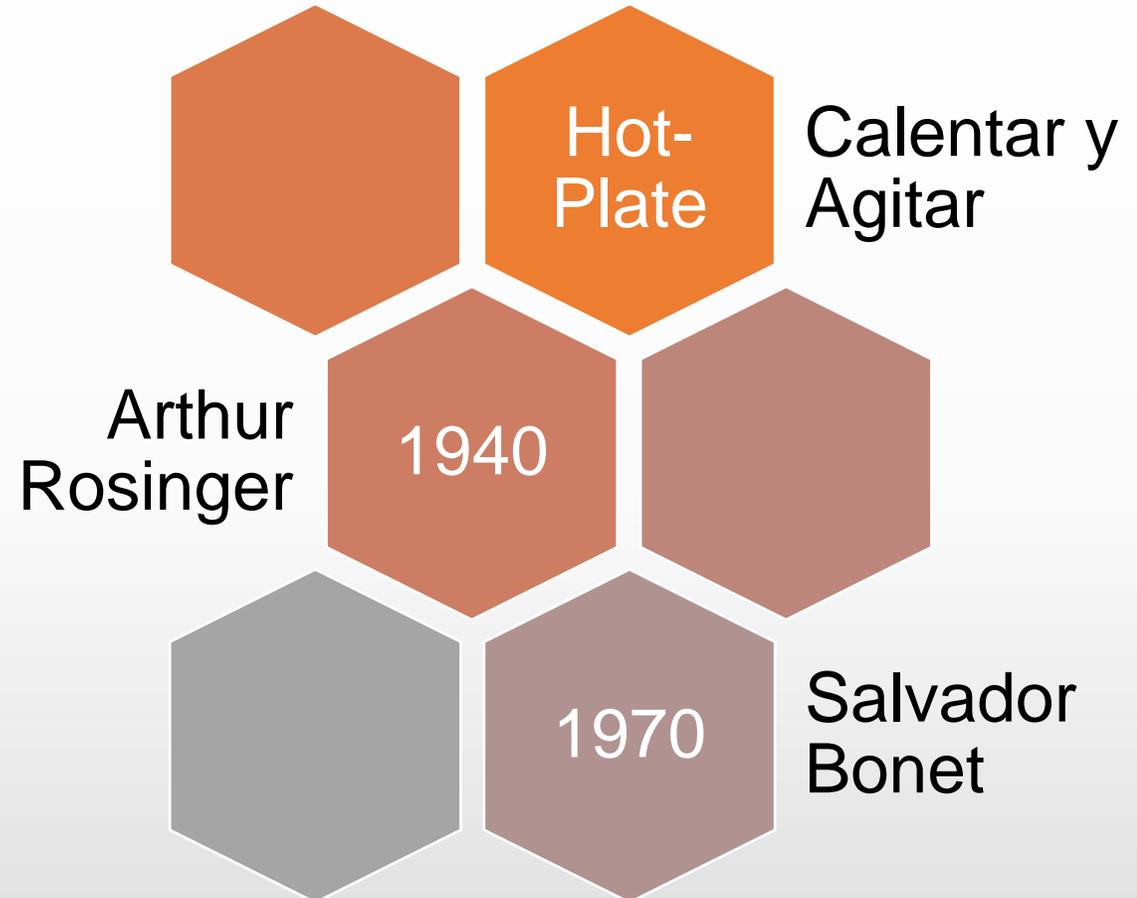
---

- Generalidades, objetivos y alcance del proyecto
- Marco teórico** ←
- Diseño y simulación de equipo Hot Plate
- Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate
- Pruebas de funcionamiento
- Análisis económico
- Conclusiones y Recomendaciones

# INTRODUCCIÓN

Instrumentos  
específicos

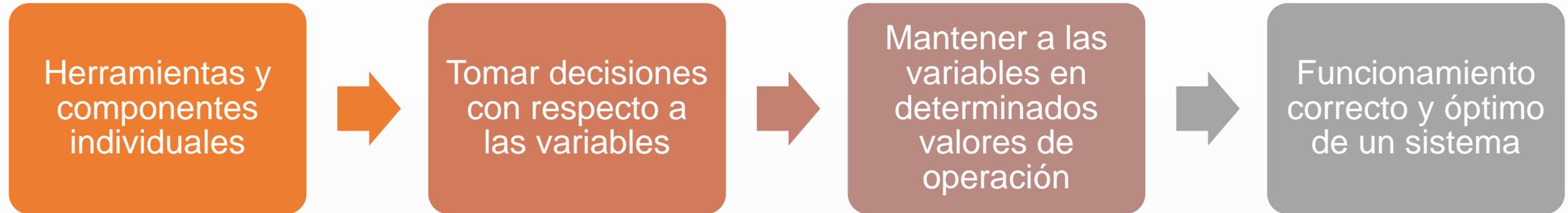
Biotecnología,  
rama que se ha  
desarrollado en  
los últimos años.



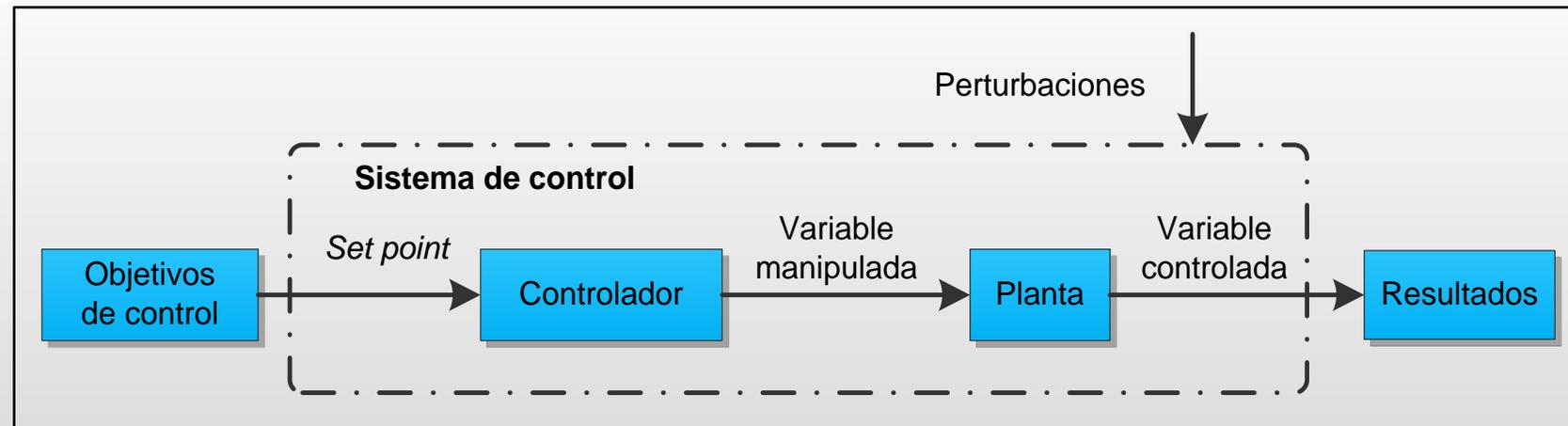
# Medios de Cultivo



# SISTEMAS DE CONTROL

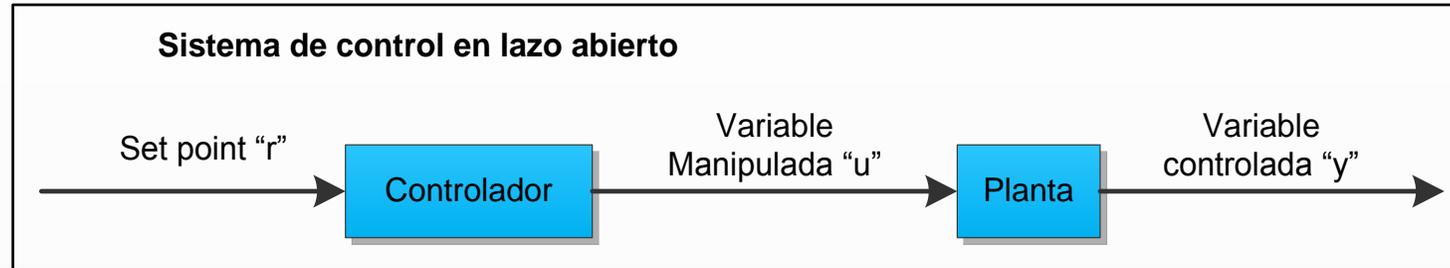


## Componentes de un sistema de control

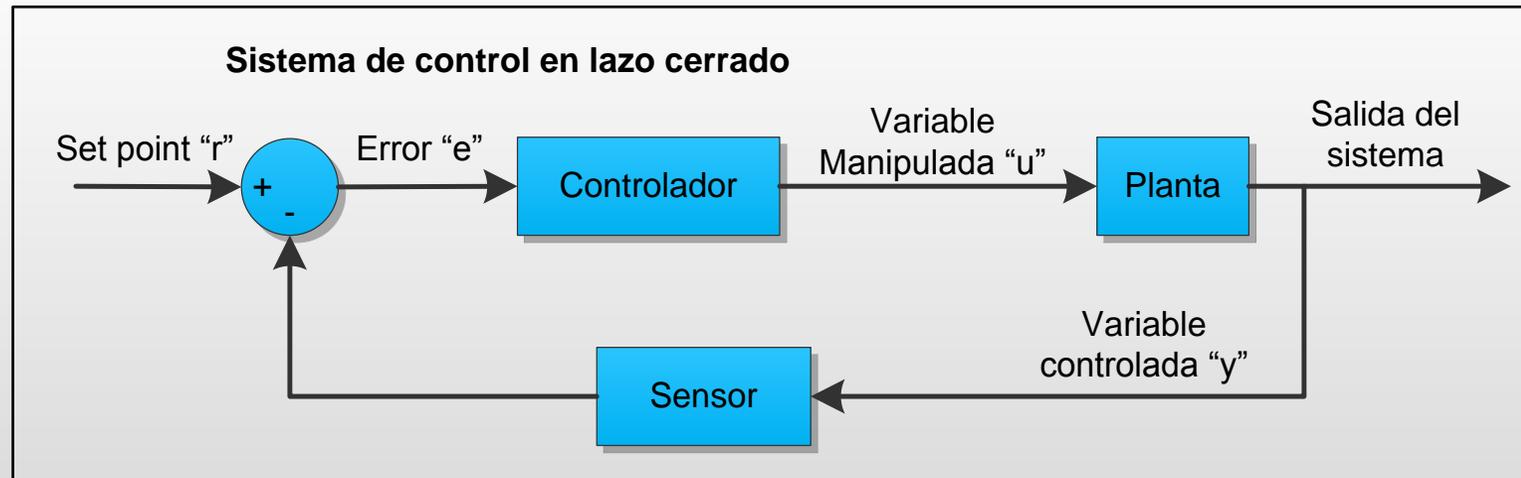


# Clasificación de los sistemas de control

- Estructura de un sistemas de control en lazo abierto

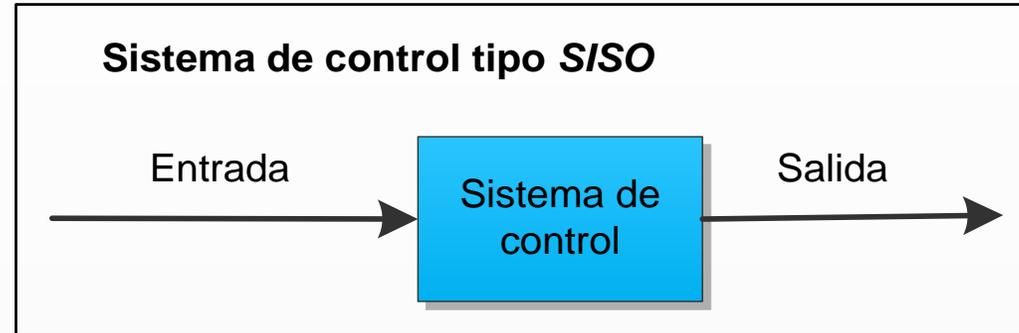


- Estructura de un sistemas de control en lazo cerrado

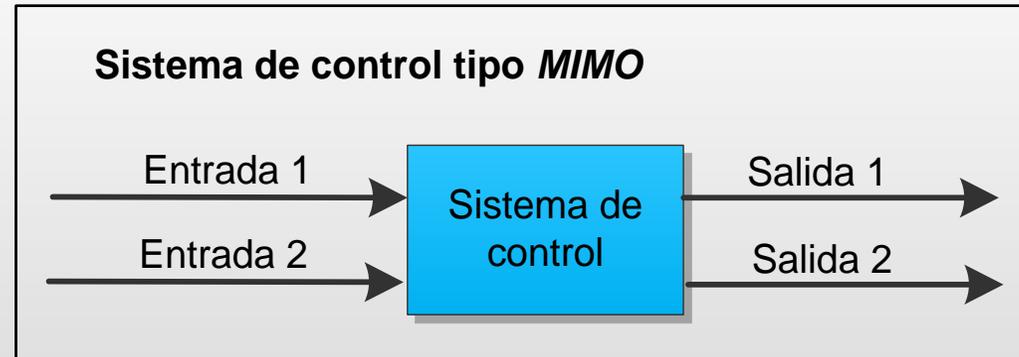


# Clasificación de los sistemas de control

- Sistemas tipo SISO



- Sistemas tipo MIMO



# SISTEMAS DE CONTROL DIFUSO

## Problema

- “A medida que la complejidad de un sistema aumenta, la capacidad del ser humano para hacer declaraciones precisas y significativas sobre su comportamiento disminuye hasta alcanzar un umbral más allá del cual la precisión y la importancia se vuelven mutuamente características exclusivas” (Lotfi Zadeh, 1965).

## Solución

- “Cuanto más cerca se mira a un problema del mundo real, más borrosa se convierte su solución”

## Principio

- La lógica difusa permite valores intermedios para definir valores convencionales como si o no, verdadero o falso, negro o blanco, entre otros.

# Ventajas del control difuso

La lógica difusa trata de imitar la lógica del ser humano

No es necesario el modelamiento del sistema a controlar

Lógica sencilla de control robusto

Variables lingüísticas

- El control adopta valores como: “más caliente” o “menos frío”

Ecuación Matemática

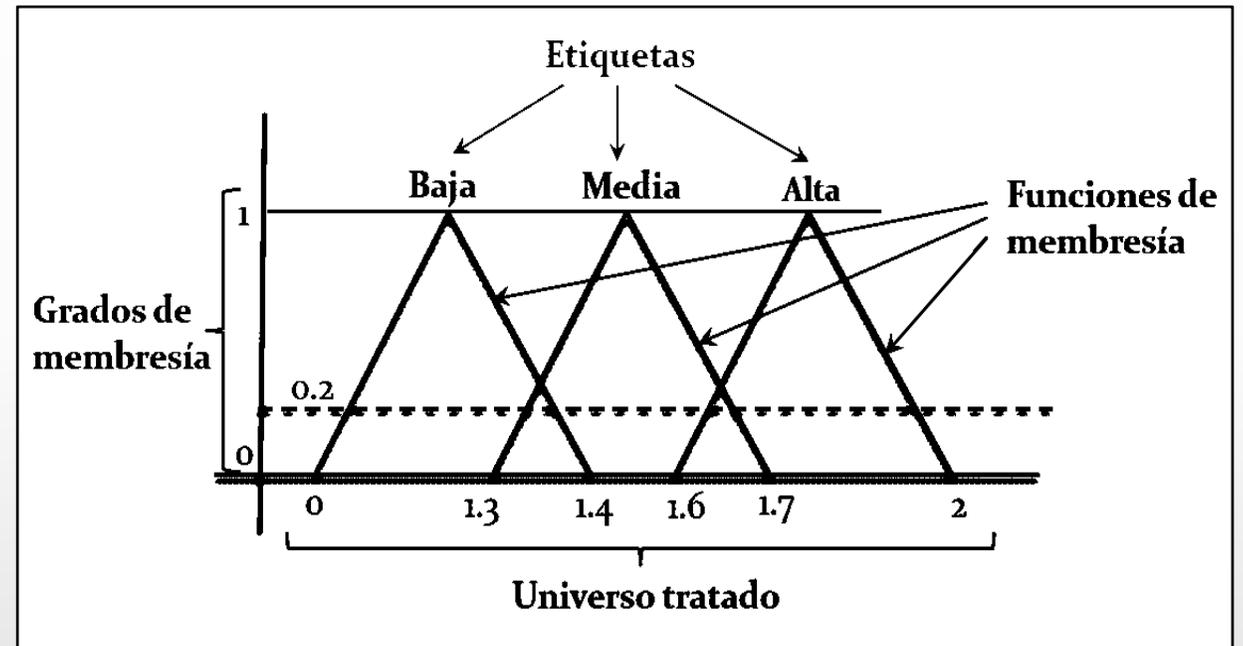
- No es necesario representar al sistema con una ecuación

Sistemas

- SISO
- MIMO

# Elementos del control difuso

- Un conjunto difuso, es una agrupación de elementos que reúnen características de asociación similares.
- De forma matemática, un conjunto difuso [A], perteneciente al universo [U], es un conjunto de pares ordenados de un elemento genérico [u] con su respectivo grado de membresía [ $\mu_A(u)$ ] (Membership)

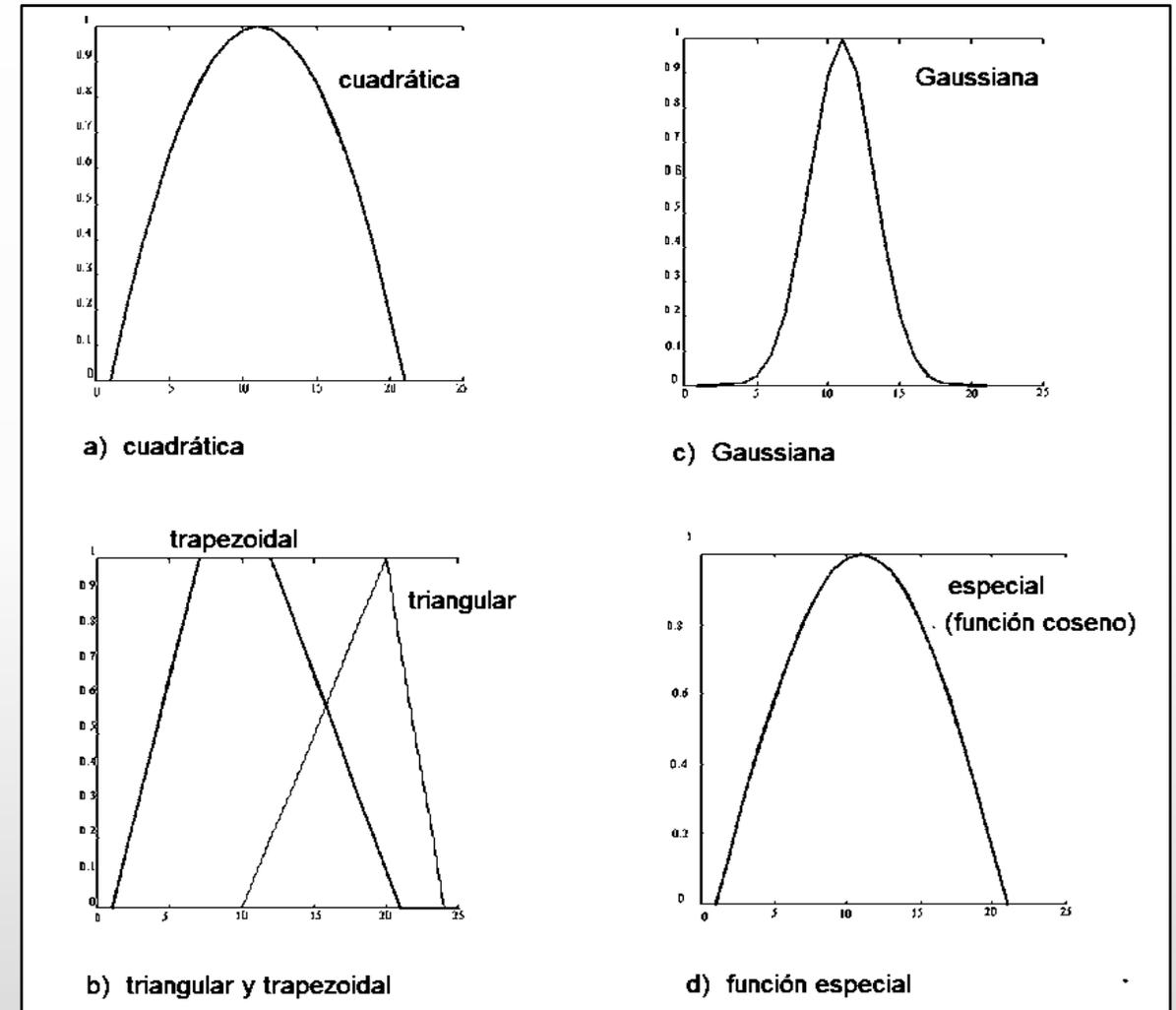


# Elementos del control difuso

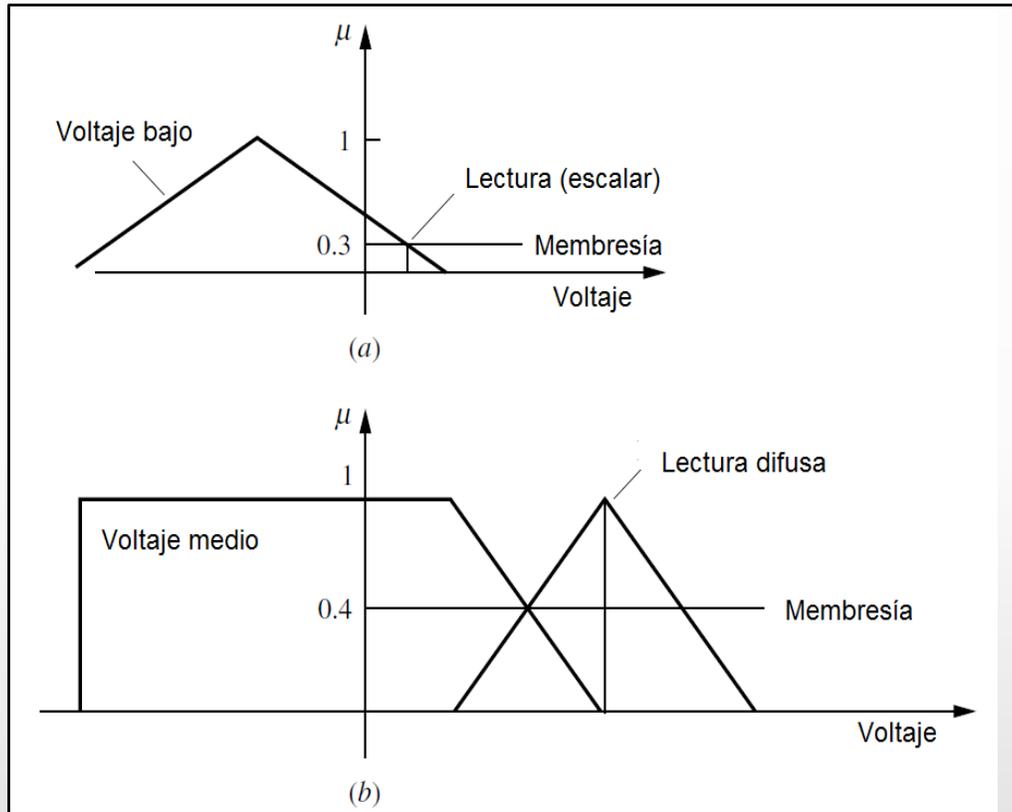
## TIPOS DE FUNCIONES DE MEMBRESÍA

- Lineal por tramos (triangular y trapezoidal)
- Cuadrática
- Gaussiana de acuerdo con la fórmula:  

$$\mu(x) = \exp(-((x - \mu) / \sigma)^2)$$
- Algunas funciones especiales



# Fusificación



- La variable controlada pasa a tener un grado de pertenencia en uno o más funciones de membresía

# Reglas difusas

## Tabulación de las reglas de fusificación

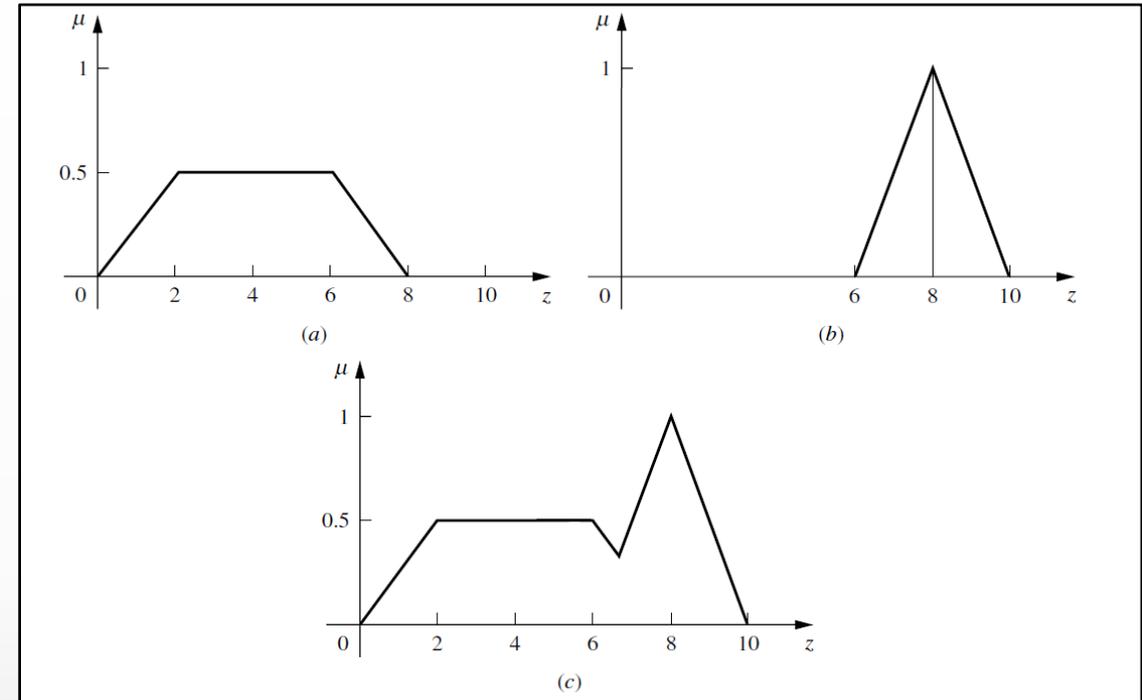
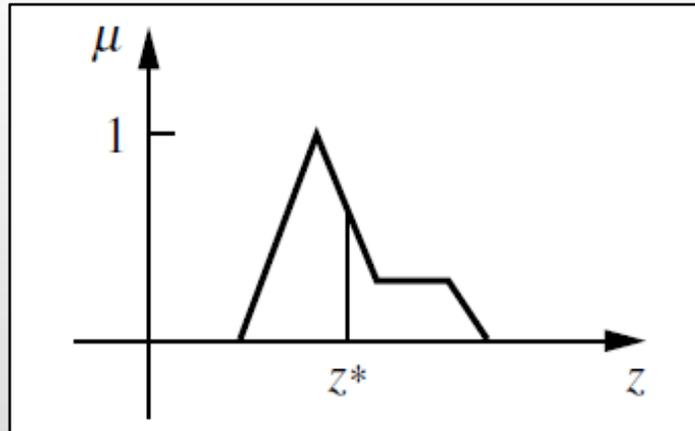
Forma canónica de un sistema basado en reglas difusas	
Regla 1:	SI la condición $C^1$ , ENTONCES la restricción $R^1$
Regla 2:	SI la condición $C^2$ , ENTONCES la restricción $R^2$
⋮	
Regla $r$ :	SI la condición $C^r$ , ENTONCES la restricción $R^r$

Fuente: (Ross, 2004)

- El diseñador del sistema de control difuso, debe conocer la relación entre las variables de entrada y salida para poder diseñar el controlador.

# Defusificación

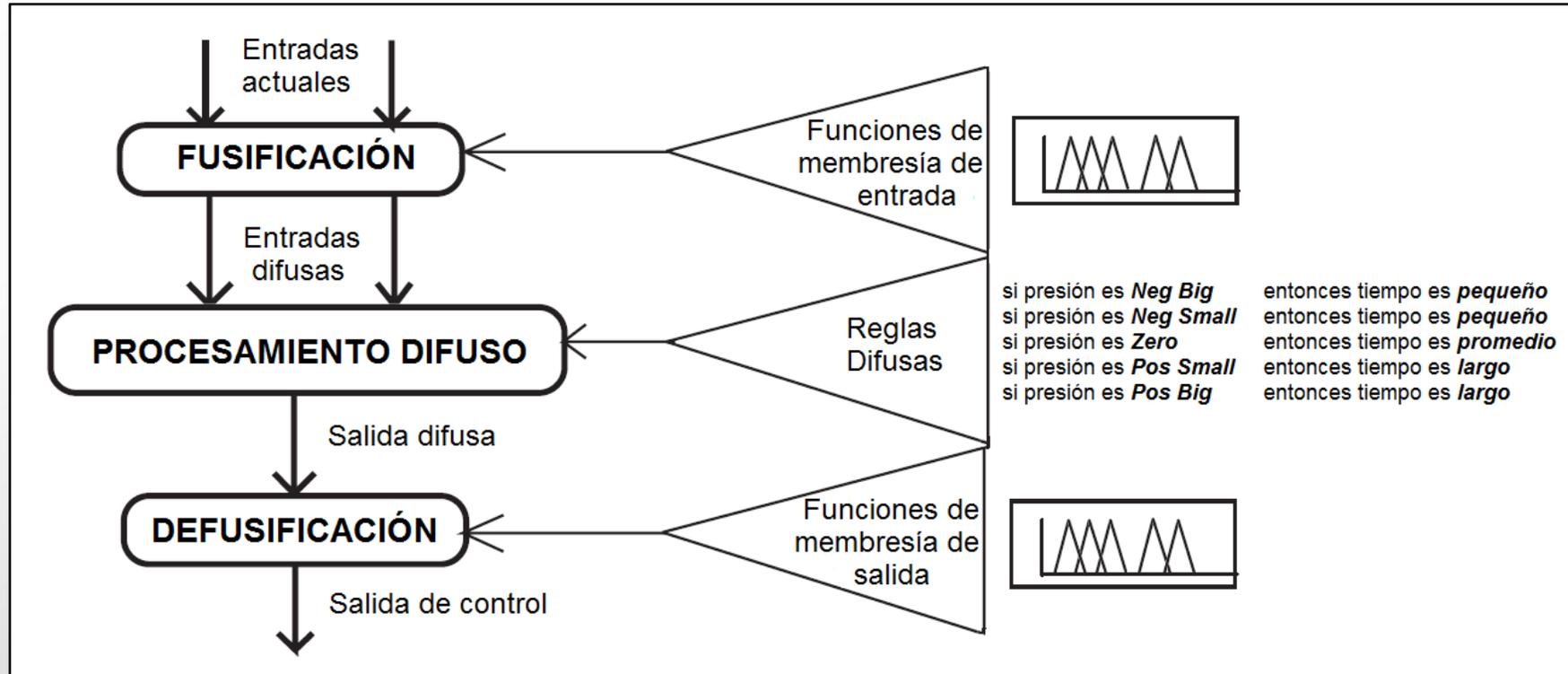
- Es el proceso en el que se convierte una cantidad difusa a una cantidad escalar precisa
- Existen varias teorías matemáticas para este proceso. La mas utilizada en control es el método del centroide



$$z^* = \frac{\int u_C(z) \cdot z \, dz}{u_C(z)}$$

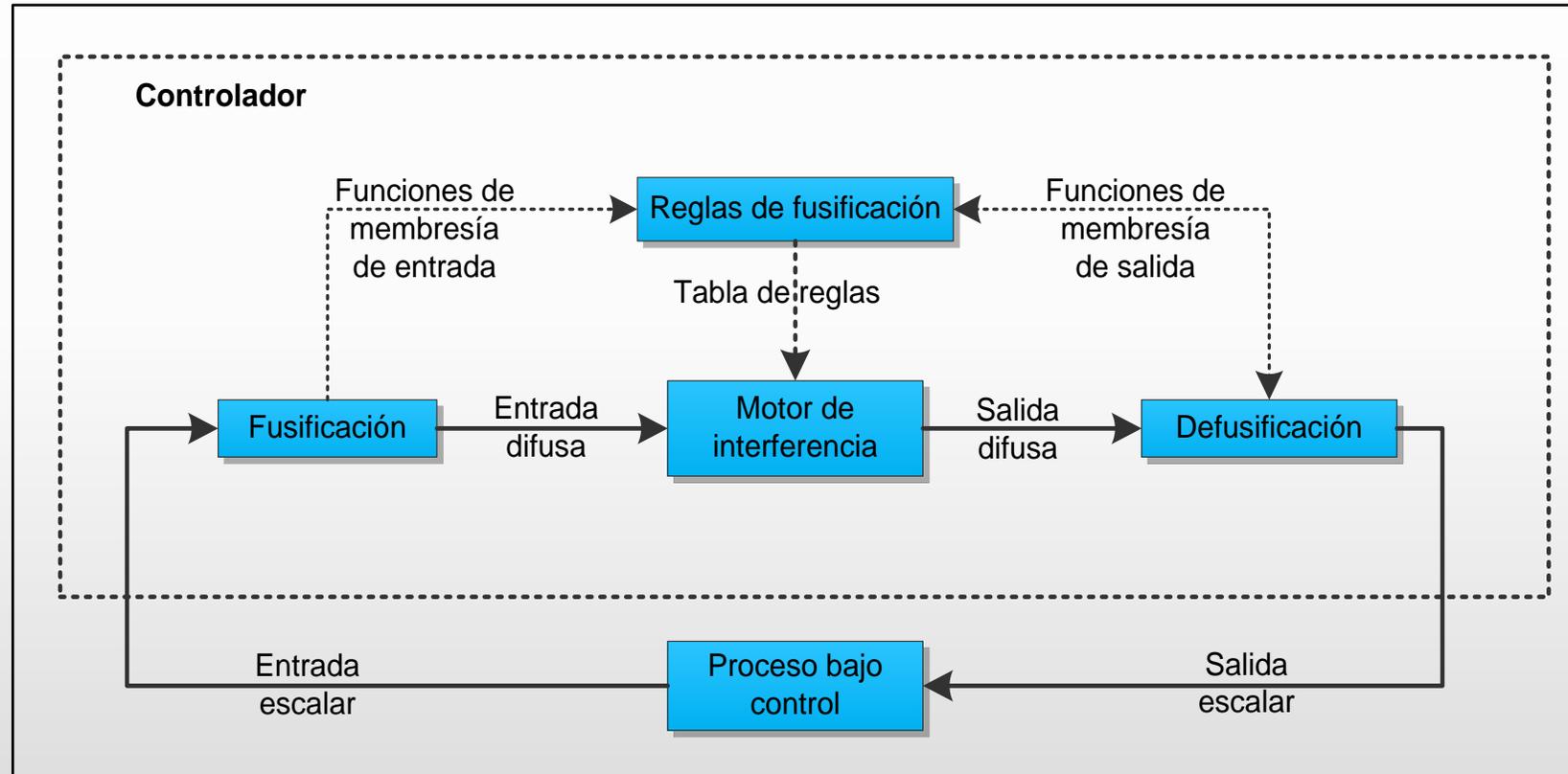
# Controladores difusos

- Motor de inferencia de un controlador difuso



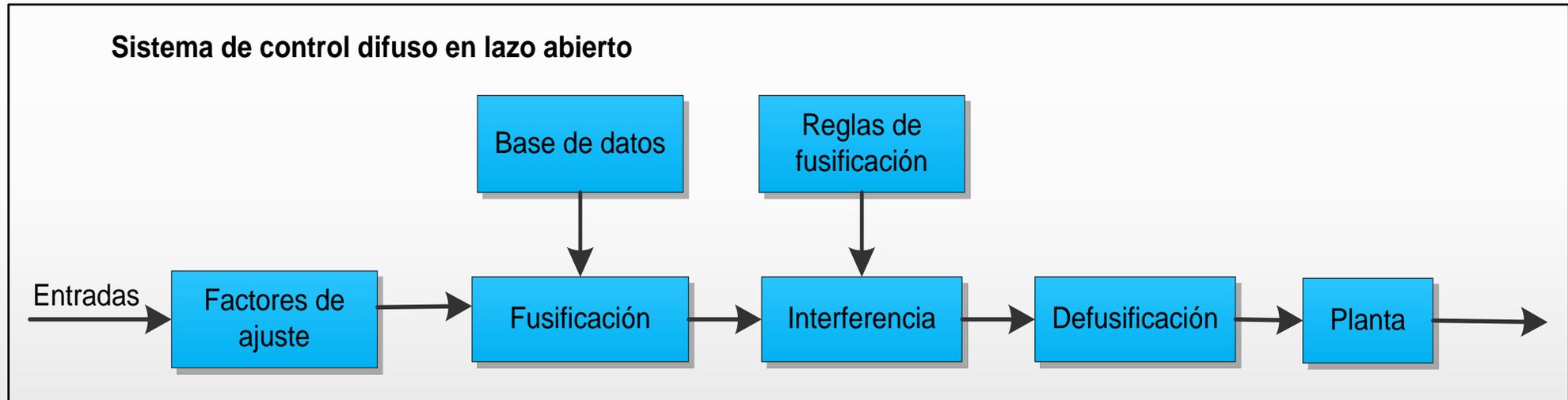
# Controladores difusos

- Estructura de un controlador difuso



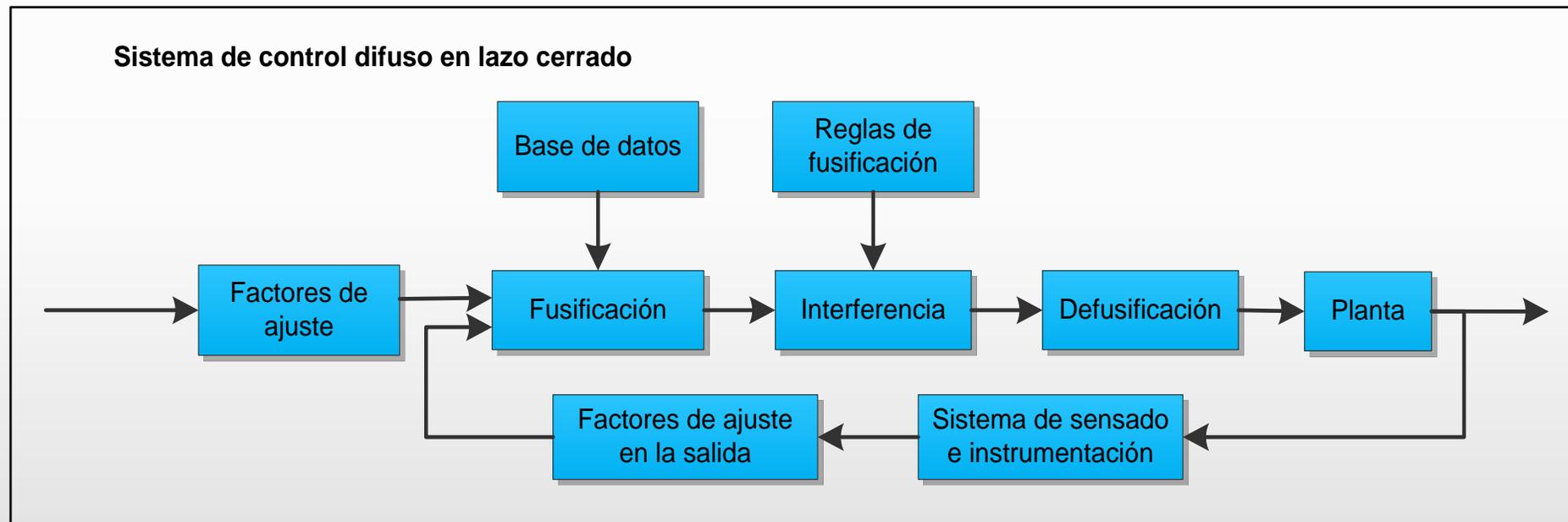
# Controladores difusos

- Estructura de un controlador difuso en lazo abierto

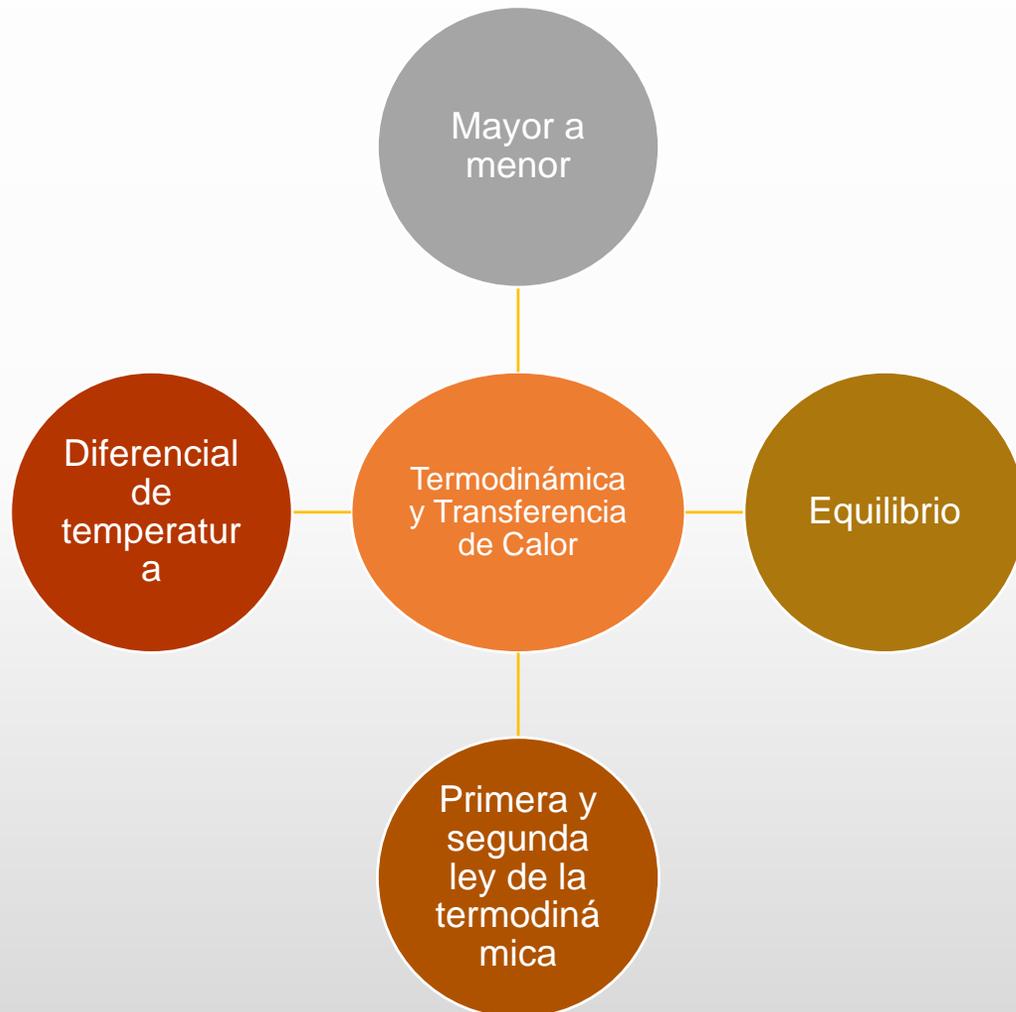


# Controladores difusos

- Estructura de un controlador difuso en lazo cerrado

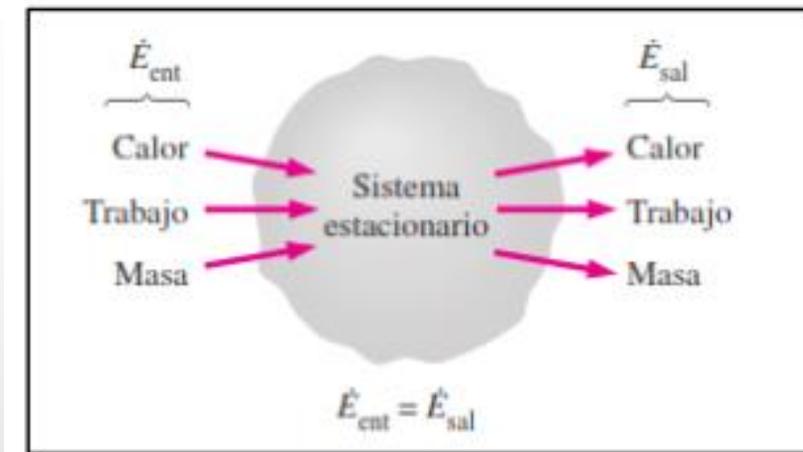


# SISTEMAS MECÁNICOS



## Primera Ley de la Termodinámica

$$\left( \begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que entra en el} \\ \text{sistemas} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que sale del} \\ \text{sistemas} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Cambio en la} \\ \text{energía total} \\ \text{del sistema} \end{array} \right)$$



Sistema energético en operación estacionaria

# Balance de energía en la superficie



## Conducción

Transferencia de energía

Más energéticas hacia las adyacentes menos energéticas

## Conductividad Térmica

Capacidad que tiene un material para conducir el calor

## Convección

Transferir energía calórica

Superficie hacia líquido o gas

Movimiento

# Sistemas Magnéticos

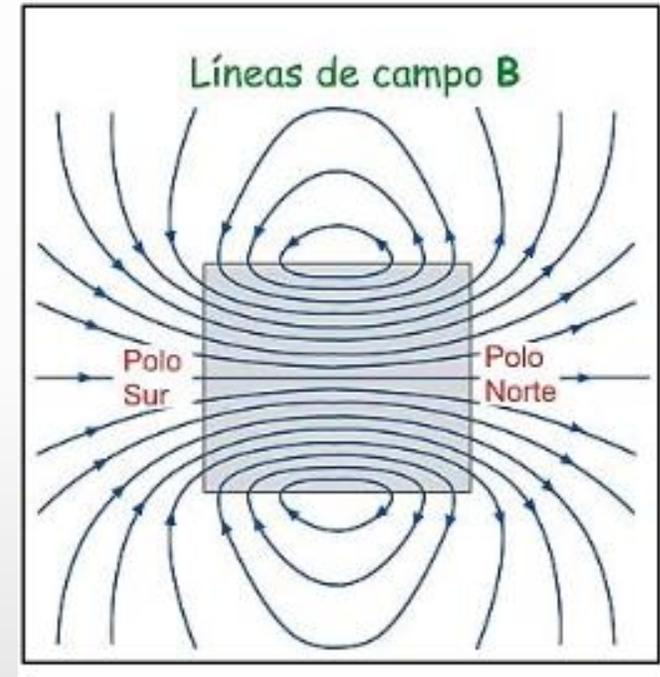
Minerales atraer  
o repeler

Propiedades  
magnéticas se  
concentran en  
los extremos

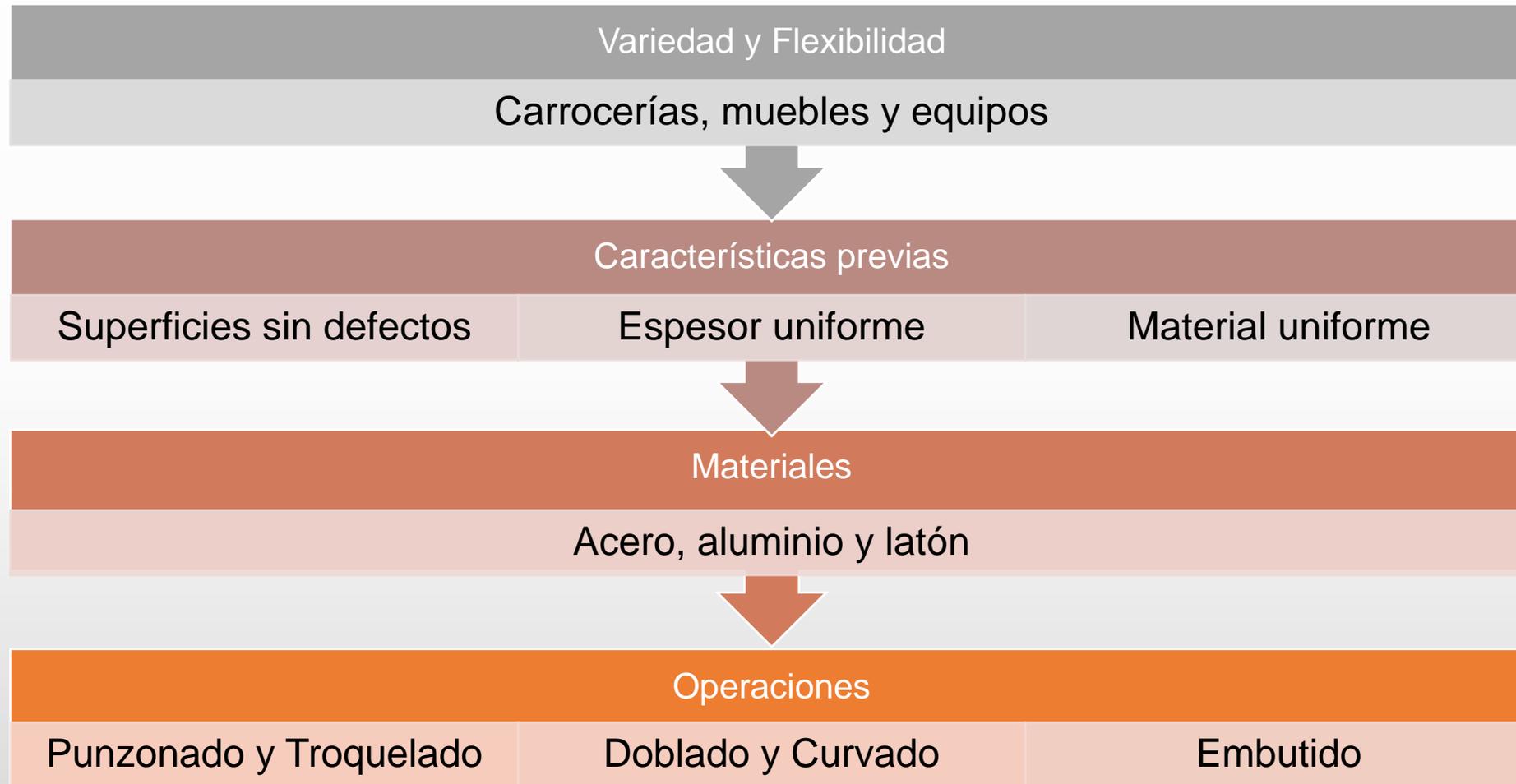
Imposible aislar  
un polo

Líneas de  
Campo son  
cerradas

Ferromagnéticos,  
Paramagnéticos,  
Diamagnéticos



# Procesos de manufactura en Chapa Metálica



# SISTEMAS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS

## Motor a pasos



## Sistema de resistencias planas



## Arduino





# ÍNDICE

- Generalidades, objetivos y alcance del proyecto
- Marco teórico
- Diseño y simulación de equipo Hot Plate** ←
- Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate
- Pruebas de funcionamiento
- Análisis económico
- Conclusiones y Recomendaciones



# PARÁMETROS DE DISEÑO

## Control

Velocidad  
 $\pm 10$ (RPM)

Temperatura  $\pm 3$ (°C)

Lógica Difusa

## Instrumentación

Dos sensores

## Estructura Metálica

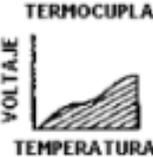
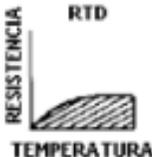
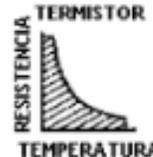
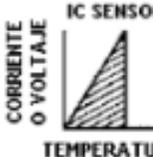
Carcaza y Plato

No ser material  
magnético

Resistente al agua

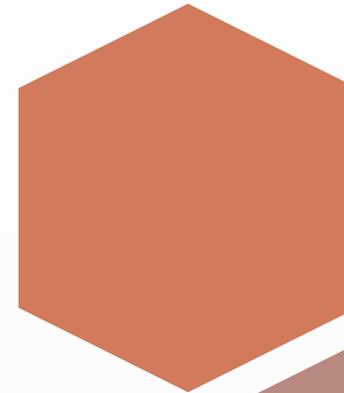
Acero Inoxidable

# Parámetros de Instrumentación

	TERMOCUPLA	RTD	TERMISTOR	IC SENSOR
				
LINEALIDAD		X		XX
SENSIBILIDAD			X	XX
ROBUSTEZ	X			
COSTO	XX		X	X
ESTABILIDAD		X		
PRECISION		XX		X
TIEMPO RESPUESTA	X			
INMUN. RUIDO				X
DISP. POTENCIA	XX			X
MAX. RANGO TEMP(°C)	- 270 A +2980	-180 A +630	-80 A +150	-55 A +150

X- BUENO  
XX- EXCELENTE

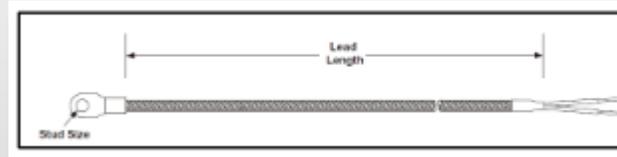
Comparativos de sensores de temperatura



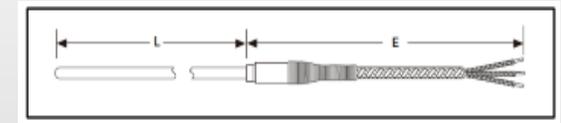
Termocupla  
20 a 450 (°C)  
70XKSGD048A WATLOW



PT100  
Resistente al agua  
Acero inoxidable  
20 a 100 (°C)  
RBGL0TA060BB090  
WATLOW



Termocupla



PT100

# Parámetros de Funcionamiento

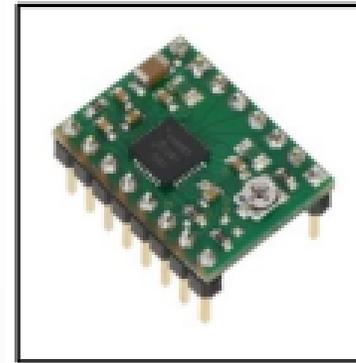
Característica	Rango
Plato Térmico	[200 a 320] (°C)
Fluido	[60 a 100] (°C)
Velocidad	[10 a 370] (RPM)

# SELECCIÓN DE COMPONENTES

## Motor Nema 17

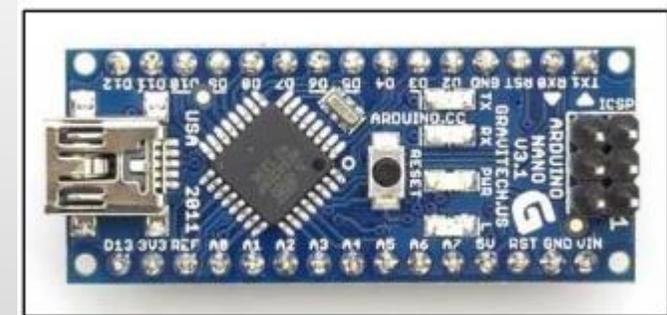
Característica	Descripción
Fases	2
Steps/Revolución	200
Exactitud de paso	±5%
Corriente	1.5 A
Voltaje	12 VDC
<b>Potencia</b>	<b>10 W</b>
Peso	230 gramos
Inercia del Rotor	0.057 kg-cm <sup>2</sup>
Tiempo de vida	20 000 horas a 1 000 R.P.M.
Temperatura de operación	-20°C a +40°C
Clase de aislamiento	B, 130°C

## Driver a4988



Característica	Descripción
Recorrido	2° por activación
Voltaje de operación	[8 a 35] (V)
Microstepping	OK

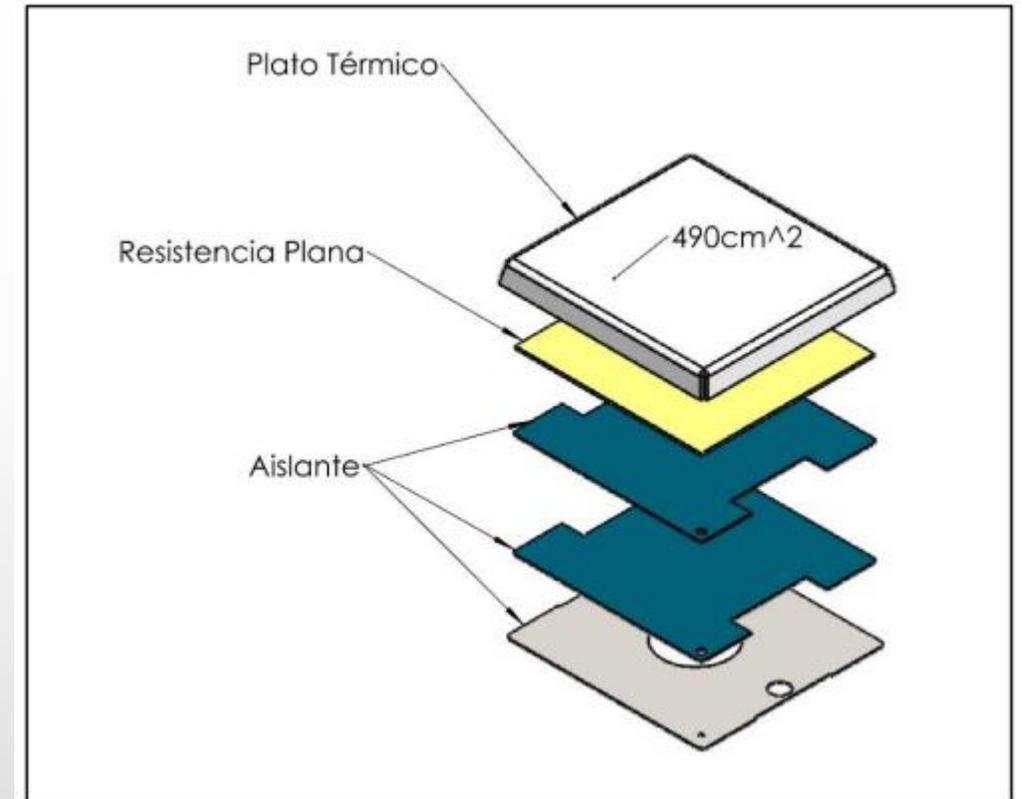
## Sistema embebido Arduino Nano



# Dimensionamiento de la Resistencia Plana

Característica	Valor
Potencia	600 (W)
Espesor (L)	4 (mm)
Área de la base	490 (cm <sup>2</sup> )
Conductividad Térmica (k)	16 (W/m.°C)
Temperatura ambiente	20 (°C)
Coeficiente de calor por convección (h)	20 (W/m <sup>2</sup> .°C)

- Transferencia de calor es unidimensional
- Conductividad térmica es constante
- Parte inferior esta aislada



## Flujo uniforme de calor

$$q_0 = \frac{\dot{Q}_0}{A_{base}} = \frac{600W}{0.049 m^2} = 12\,244.89 \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

## Ecuación para la variación de la temperatura en el plato

$$T(x) = T_{\infty} + q_0 \left( \frac{L-x}{k} + \frac{1}{h} \right)$$

Las temperaturas en las superficies superior e inferior del plato se determinan al hacer las sustituciones  $x=0$  y  $x=L$ , respectivamente.

Obteniendo

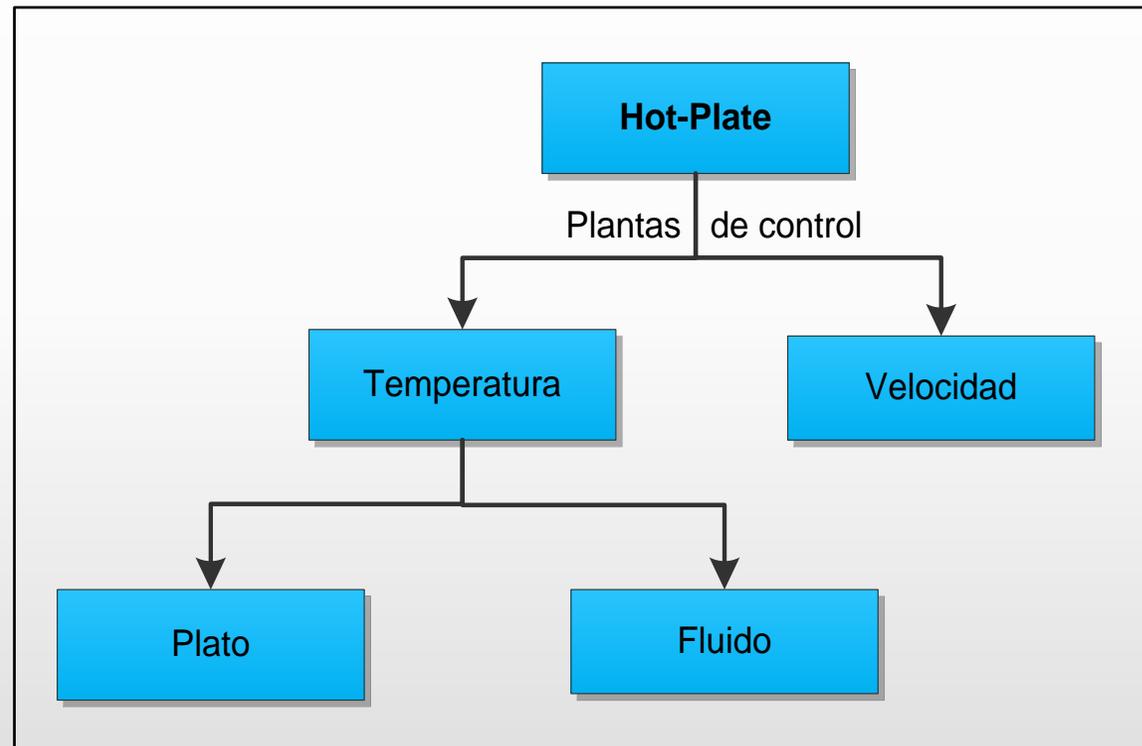
$$\begin{aligned}
 T(0) &= T_{\infty} + q_0 \left( \frac{L}{k} + \frac{1}{h} \right) \\
 &= 20^{\circ}\text{C} + \left( 12\,244.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \left( \frac{0.004 \text{ m}}{16 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{1}{20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} \right) \\
 &= 635.31^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$T(L) = T_{\infty} + q_0 \left( 0 + \frac{1}{h} \right) = 20^{\circ}\text{C} + \frac{12\,244.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} = 632.25^{\circ}\text{C}$$

Se concluye que la temperatura máxima que se puede alcanzar es 635.31(°C) (Ec. 3.12), con una pérdida de 3.06 (°C) (Ec. 3.11) en el plato térmico. Es importante mencionar, que la temperatura máxima del equipo, en forma experimental, pueda ser menor a la calculada teóricamente, debido a que un porcentaje de calor se pierde por radiación.

# DISEÑO DEL CONTROL DIFUSO

- Plantas de control en el Hot Plate



# Control de temperatura en el plato

- Plato térmico:  $[0 \ 2.5]$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

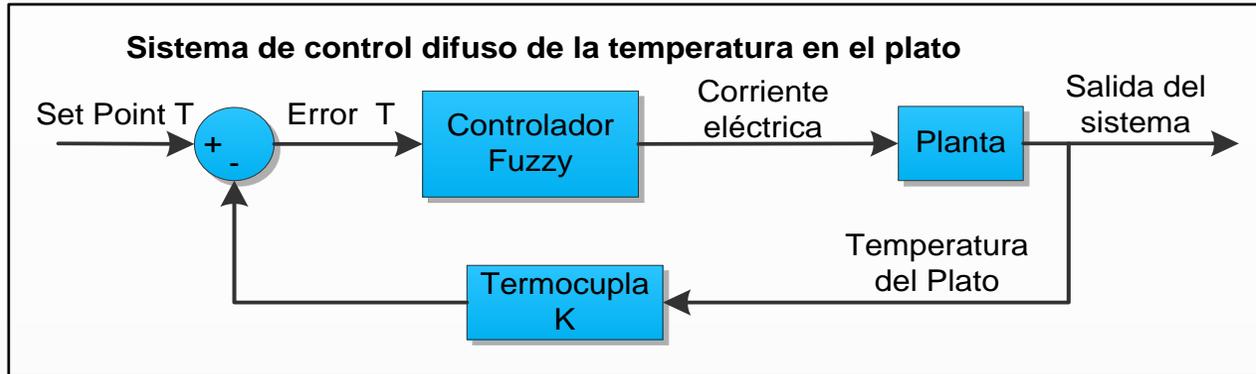
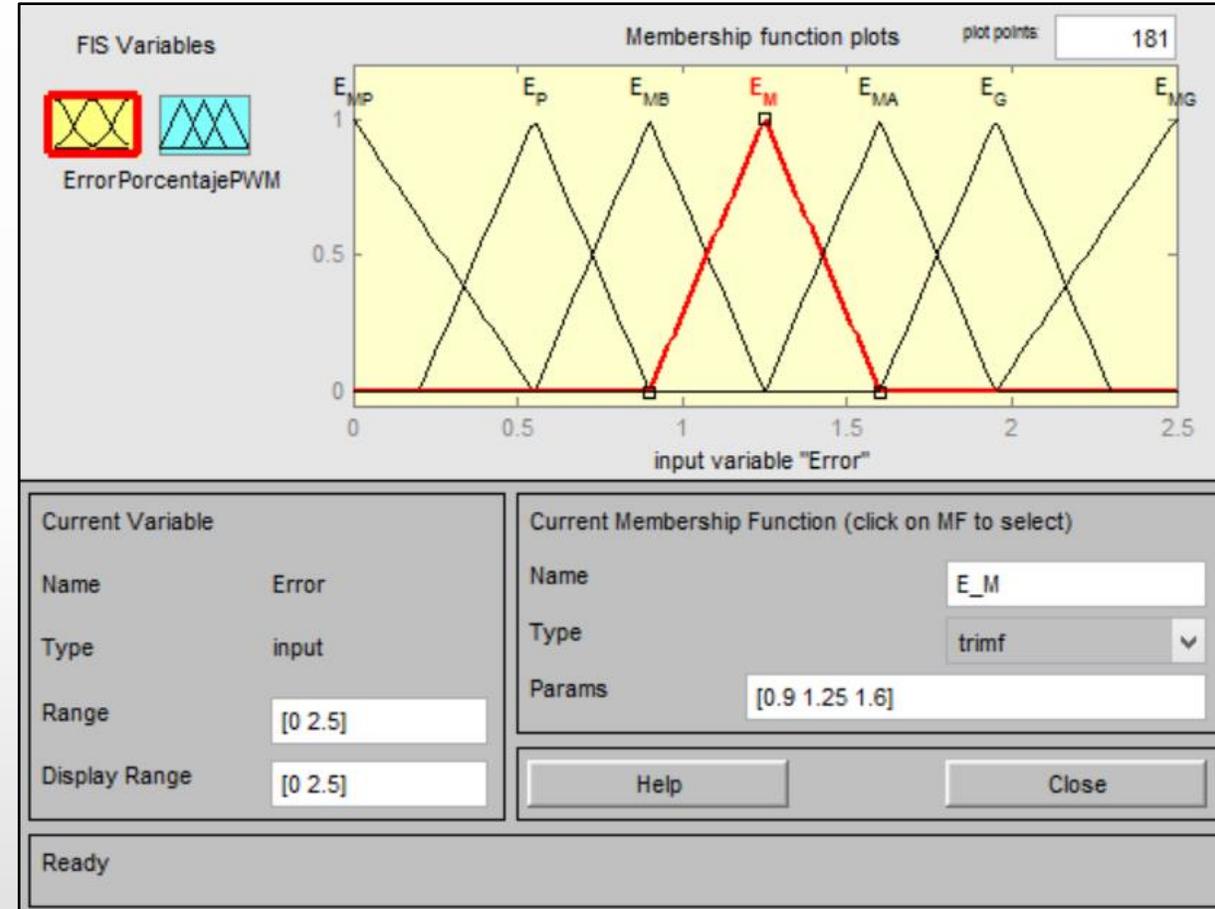


Diagrama de control en el plato térmico

## Funciones de membresía de entrada del controlador de temperatura en el plato

Función de membresía	Etiqueta	Forma de la función	Rango
Error muy pequeño	$E_{MP}$	Trapezoidal	$[-0.5 \ -0.5 \ 0 \ 0.55]$
Error pequeño	$E_P$	Triangular	$[0.2 \ 0.55 \ 0.9]$
Error medio bajo	$E_{MB}$	Triangular	$[0.55 \ 0.9 \ 1.25]$
Error medio	$E_M$	Triangular	$[0.9 \ 1.25 \ 1.6]$
Error medio alto	$E_{MA}$	Triangular	$[1.25 \ 1.6 \ 1.95]$
Error grande	$E_G$	Triangular	$[1.6 \ 1.95 \ 2.3]$
Error muy grande	$E_{MG}$	Trapezoidal	$[1.95 \ 2.5 \ 3.5 \ 3.5]$



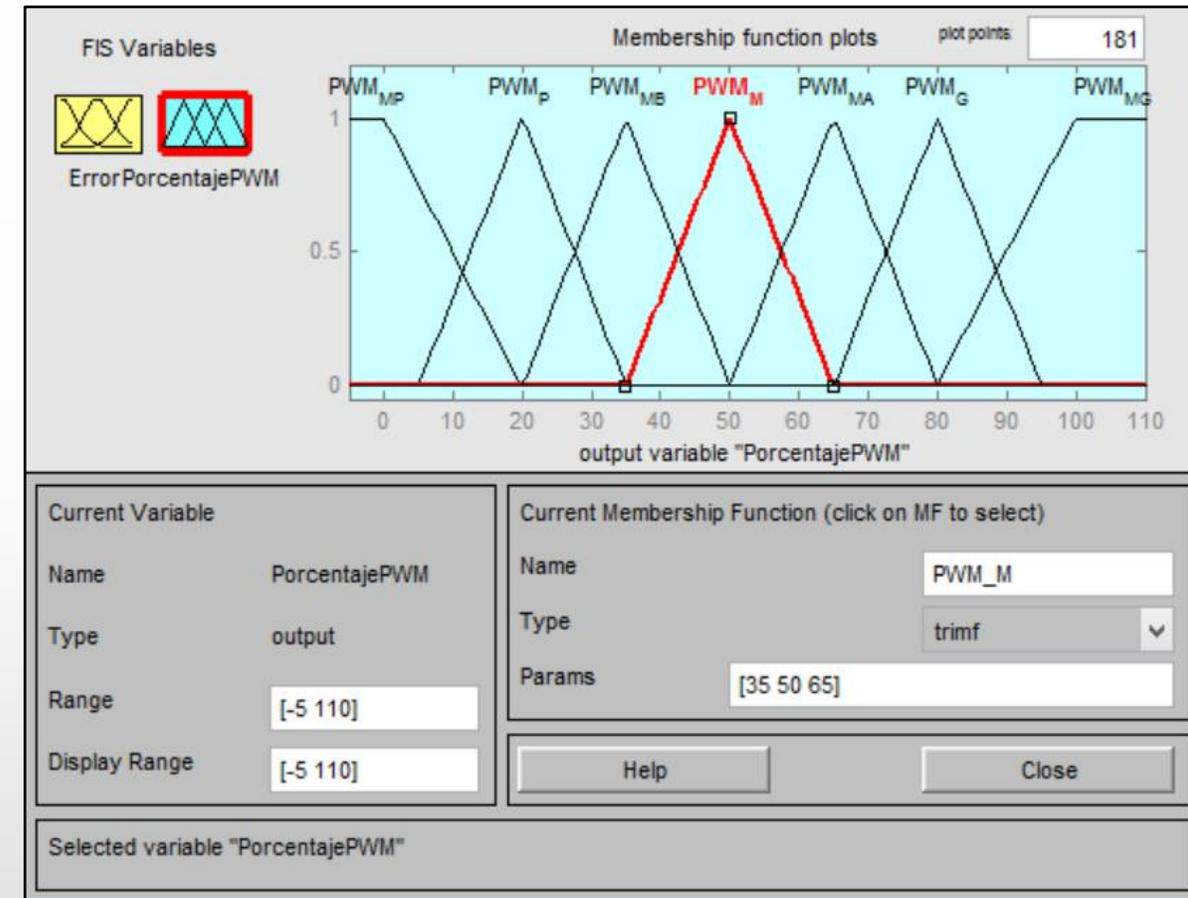
Funciones de membresía de entrada

# Control de temperatura en el plato

- Plato térmico: [0 2.5] (°C)

## Funciones de membresía de salida del controlador de temperatura en el plato

Función de membresía	Etiqueta	Forma de la función	Rango
PWM muy pequeño	<u>PWM<sub>MP</sub></u>	Trapezoidal	[-10 -10 0 20]
PWM pequeño	<u>PWME<sub>P</sub></u>	Triangular	[5 20 35]
PWM medio bajo	<u>PWM<sub>MB</sub></u>	Triangular	[20 35 50]
PWM medio	<u>PWM<sub>M</sub></u>	Triangular	[35 50 65]
PWM medio alto	<u>PWM<sub>MA</sub></u>	Triangular	[50 65 80]
PWM grande	<u>PWM<sub>G</sub></u>	Triangular	[65 80 95]
PWM muy grande	<u>PWM<sub>MG</sub></u>	Trapezoidal	[80 100 120 120]



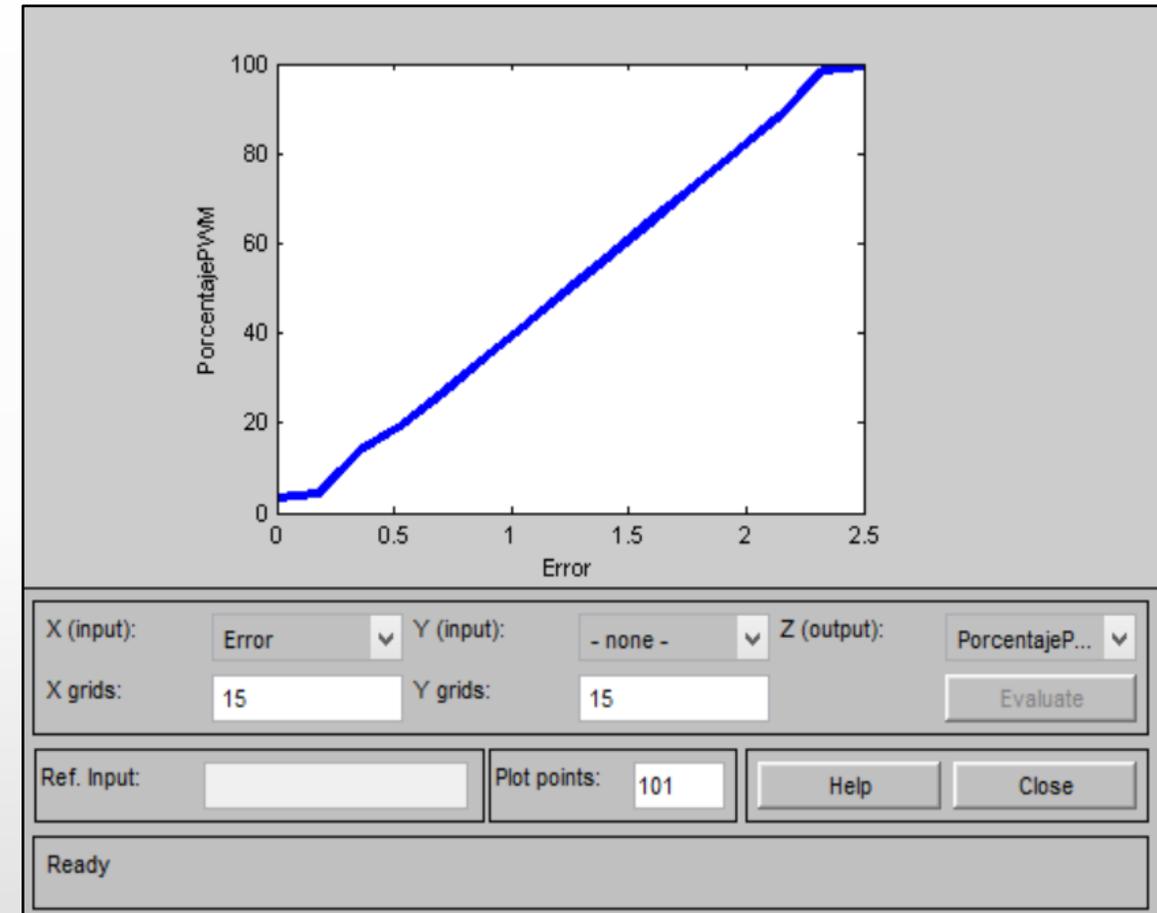
Funciones de membresía de salida

# Control de temperatura en el plato

- Plato térmico: [0 2.5] (°C)

## Reglas de fusificación del controlador de temperatura en el plato

N° de Regla	Regla	Etiqueta
1	SI Error es muy pequeño, ENTONCES el PWM es muy pequeño	SI $E_{MP}$ ENTONCES $PWM_{MP}$
2	SI Error es pequeño, ENTONCES el PWM es pequeño	SI $E_P$ ENTONCES $PWM_P$
3	SI Error es medio bajo, ENTONCES el PWM es medio bajo	SI $E_{MB}$ ENTONCES $PWM_{MB}$
4	SI Error es medio, ENTONCES el PWM es medio	SI $E_M$ ENTONCES $PWM_M$
5	SI Error es medio alto, ENTONCES el PWM es medio alto	SI $E_{MA}$ ENTONCES $PWM_{MA}$
6	SI Error es grande, ENTONCES el PWM es grande	SI $E_G$ ENTONCES $PWM_G$
7	SI Error es muy grande, ENTONCES el PWM es muy grande	SI $E_{MG}$ ENTONCES $PWM_{MG}$



Superficie de control

# Control de temperatura en el fluido

- Fluido: [0 5] (°C) Funciones de membresía de entrada del controlador de temperatura en el fluido

Función de membresía	Etiqueta	Forma de la función	Rango
Error muy pequeño	$E_{MP}$	Trapezoidal	[-1 -1 0 1.1]
Error pequeño	$E_P$	Triangular	[0.4 1.1 1.8]
Error medio bajo	$E_{MB}$	Triangular	[1.1 1.8 2.5]
Error medio	$E_M$	Triangular	[1.8 2.5 3.2]
Error medio alto	$E_{MA}$	Triangular	[2.5 3.2 3.9]
Error grande	$E_G$	Triangular	[3.2 3.9 4.6]
Error muy grande	$E_{MG}$	Trapezoidal	[3.9 5 6 6]

## Funciones de membresía de salida del controlador de temperatura en el fluido

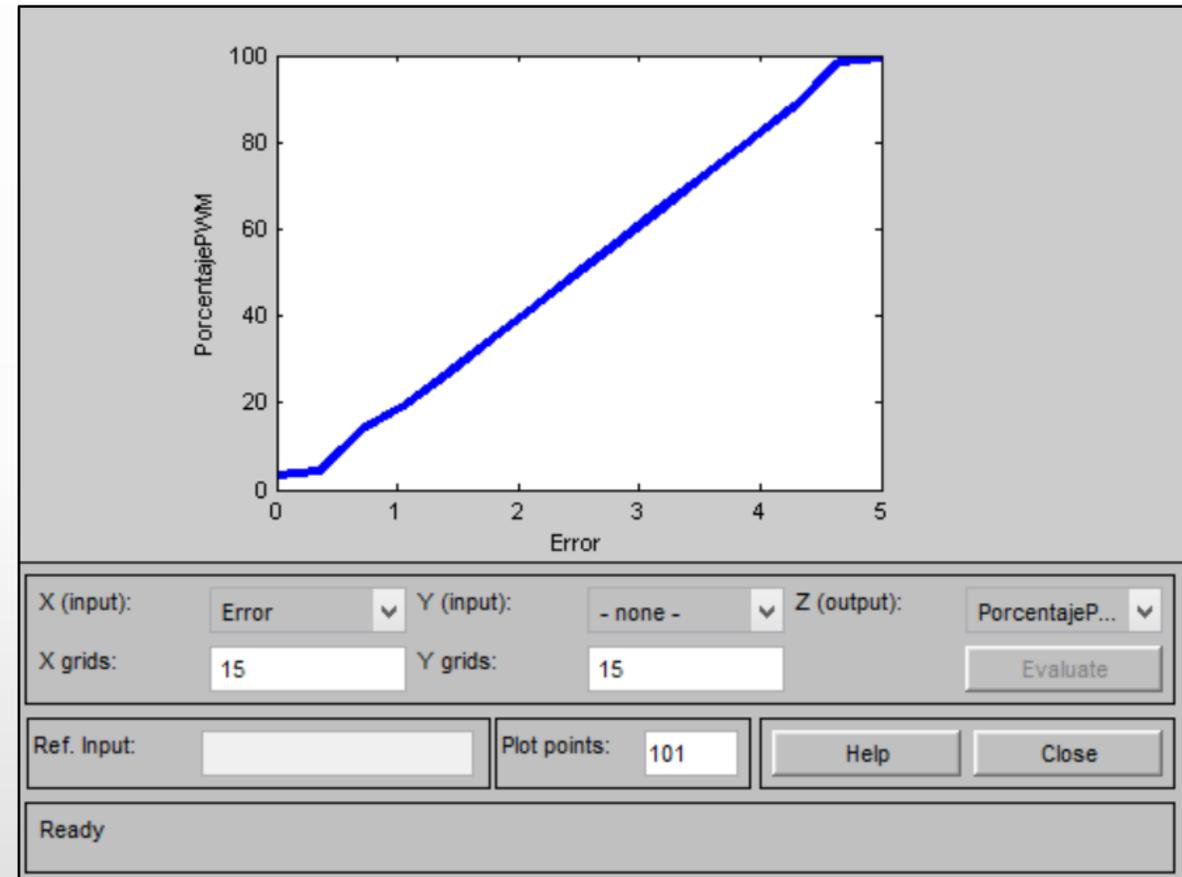
Función de membresía	Etiqueta	Forma de la función	Rango
PWM muy pequeño	$PWM_{MP}$	Trapezoidal	[-10 -10 0 20]
PWM pequeño	$PWME_P$	Triangular	[5 20 35]
PWM medio bajo	$PWM_{MB}$	Triangular	[20 35 50]
PWM medio	$PWM_M$	Triangular	[35 50 65]
PWM medio alto	$PWM_{MA}$	Triangular	[50 65 80]
PWM grande	$PWM_G$	Triangular	[65 80 95]
PWM muy grande	$PWM_{MG}$	Trapezoidal	[80 100 120 120]

# Control de temperatura en el fluido

- Fluido: [0 5] (°C)

## Reglas de fusificación del controlador de temperatura en el fluido

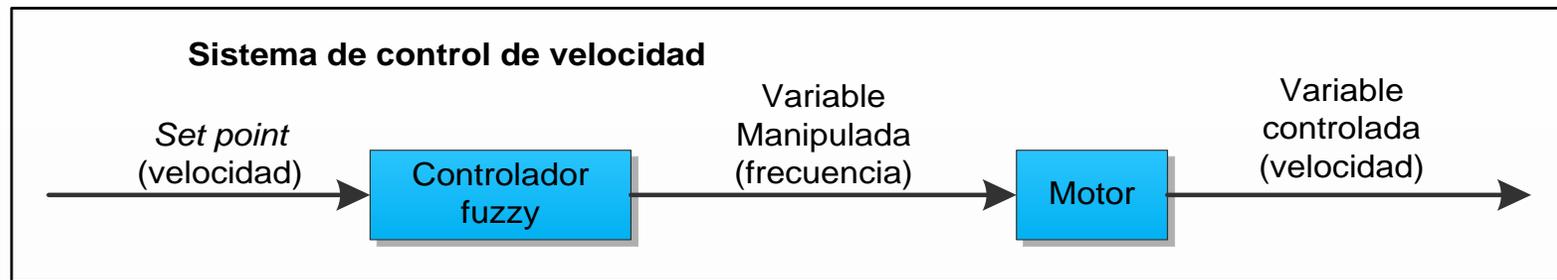
Nº de Regla	Regla	Etiqueta
1	SI Error es muy pequeño, ENTONCES el PWM es muy pequeño	SI $E_{MP}$ ENTONCES $PWM_{MP}$
2	SI Error es pequeño, ENTONCES el PWM es pequeño	SI $E_P$ ENTONCES $PWM_P$
3	SI Error es medio bajo, ENTONCES el PWM es medio bajo	SI $E_{MB}$ ENTONCES $PWM_{MB}$
4	SI Error es medio, ENTONCES el PWM es medio	SI $E_M$ ENTONCES $PWM_M$
5	SI Error es medio alto, ENTONCES el PWM es medio alto	SI $E_{MA}$ ENTONCES $PWM_{MA}$
6	SI Error es grande, ENTONCES el PWM es grande	SI $E_G$ ENTONCES $PWM_G$
7	SI Error es muy grande, ENTONCES el PWM es muy grande	SI $E_{MG}$ ENTONCES $PWM_{MG}$



Superficie de control

# Control de velocidad

- Rotación: [100 370] (RPM)



**Funciones de membresía de entrada del controlador de velocidad**

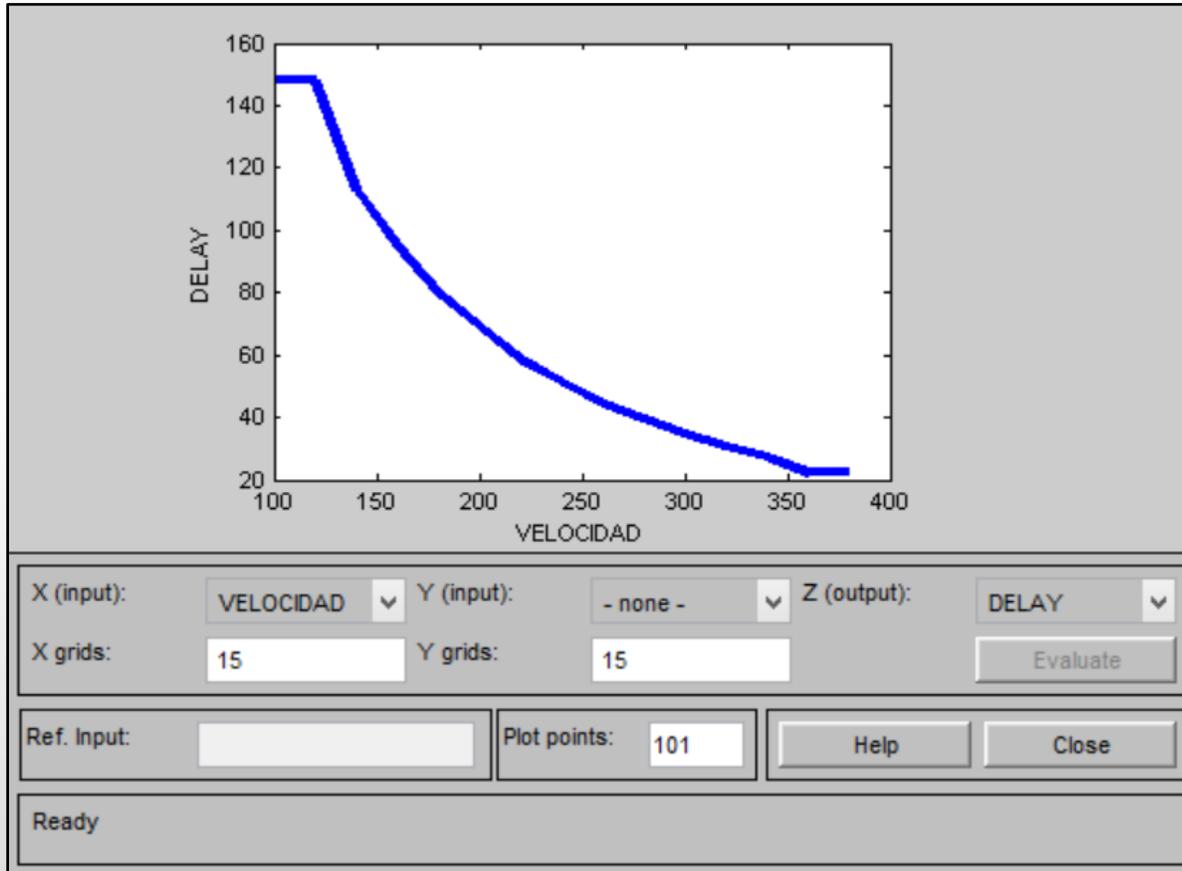
Función de membresía	Etiqueta	Forma de la función	Rango
Velocidad 120	V120	Trapezoidal	[100 100 120 135]
Velocidad 140	V140	Triangular	[125 140 155]
Velocidad 160	V160	Triangular	[145 160 175]
Velocidad 180	V180	Triangular	[165 180 195]
Velocidad 200	V200	Triangular	[185 200 215]
Velocidad 220	V220	Triangular	[205 220 235]
Velocidad 240	V240	Triangular	[225 240 255]
Velocidad 260	V260	Triangular	[245 260 275]
Velocidad 280	V280	Triangular	[265 280 295]
Velocidad 300	V300	Triangular	[285 300 315]
Velocidad 320	V320	Triangular	[305 320 335]
Velocidad 340	V340	Triangular	[325 340 355]
Velocidad 360	V360	Trapezoidal	[345 360 380 380]

**Funciones de membresía de salida del controlador de velocidad**

Función de membresía	Etiqueta	Forma de la función	Rango
Retardo de tiempo 120	T120	Trapezoidal	[120.1 131 170 170]
Retardo de tiempo 140	T140	Trapezoidal	[96.7 104.1 118.1 133]
Retardo de tiempo 160	T160	Trapezoidal	[82.6 89.7 95.7 110.7]
Retardo de tiempo 180	T180	Trapezoidal	[70.6 75.6 81.6 91.6]
Retardo de tiempo 200	T200	Trapezoidal	[62.4 65.4 69.4 78.4]
Retardo de tiempo 220	T220	Trapezoidal	[52.4 55.4 61.4 65.4]
Retardo de tiempo 240	T240	Trapezoidal	[46.9 49.9 51.9 56.9]
Retardo de tiempo 260	T260	Trapezoidal	[40.6 43.1 46.1 48.6]
Retardo de tiempo 280	T280	Trapezoidal	[36.3 38.3 40.3 42.8]
Retardo de tiempo 300	T300	Trapezoidal	[31.8 33.8 35.8 37.8]
Retardo de tiempo 320	T320	Trapezoidal	[28.5 30 31.5 33]
Retardo de tiempo 340	T340	Trapezoidal	[25.3 26.8 27.8 29.3]
Retardo de tiempo 360	T360	Trapezoidal	[20 20 24.7 26]

# Control de velocidad

- Rotación: [100 370] (RPM)

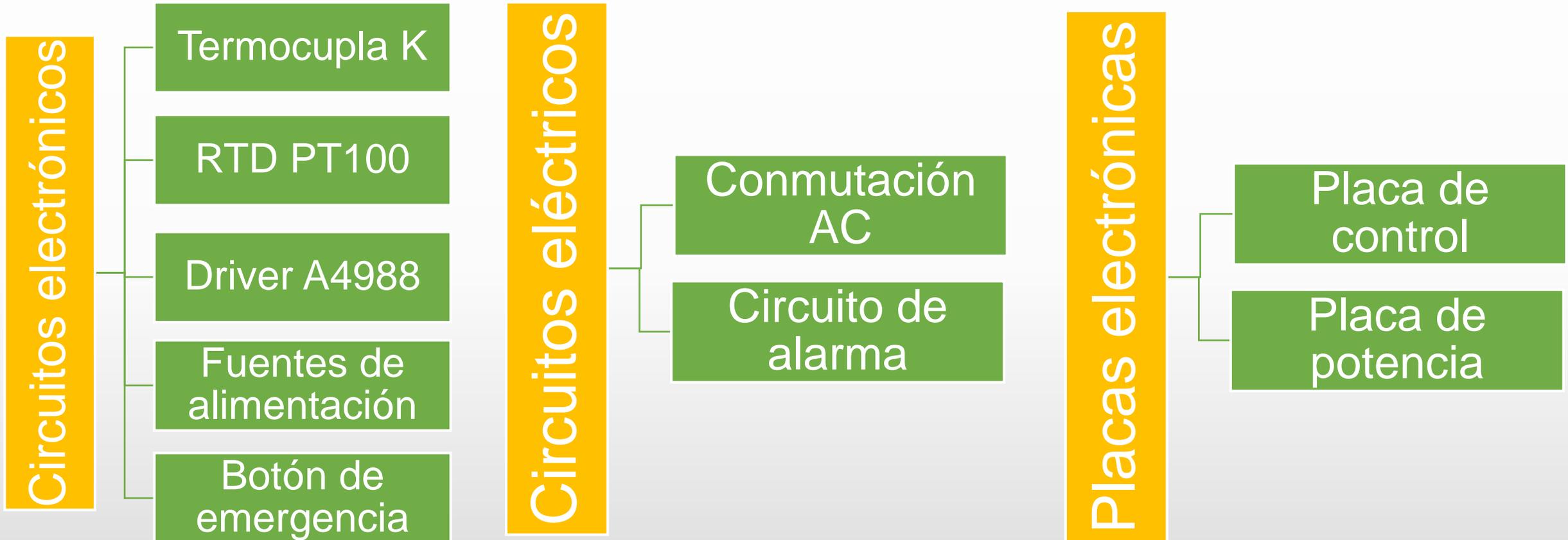


Superficie de control

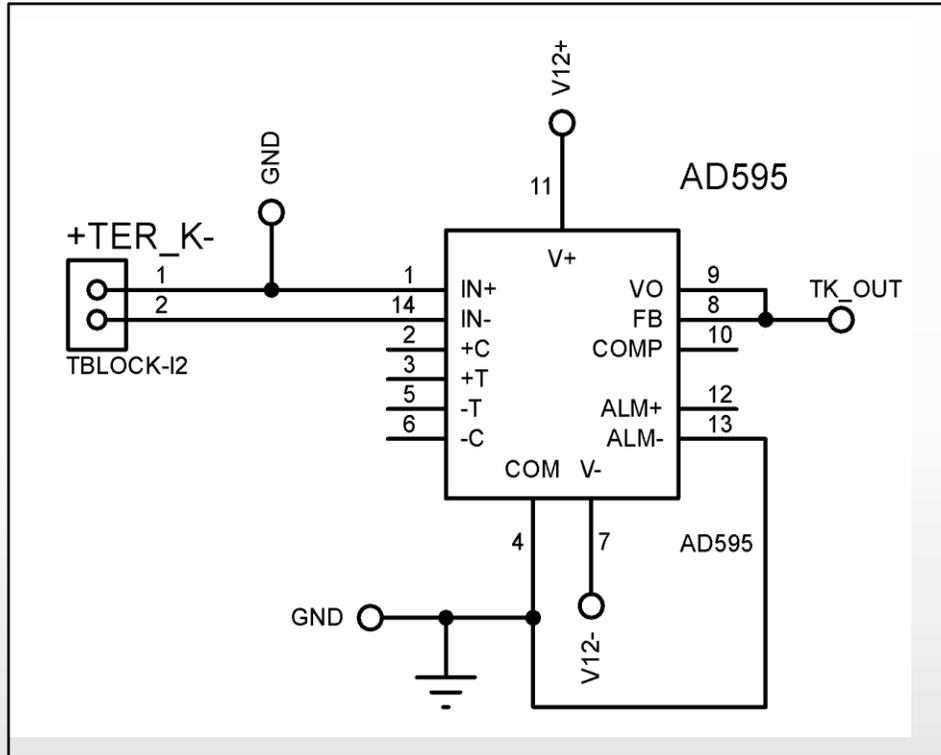
## Reglas de fusificación del controlador de velocidad

Nº de Regla	Regla	Etiqueta
1	SI Velocidad es 120, ENTONCES el Retardo de tiempo es 120	SI V120 ENTONCES T120
2	SI Velocidad es 140, ENTONCES el Retardo de tiempo es 140	SI V140 ENTONCES T140
3	SI Velocidad es 160, ENTONCES el Retardo de tiempo es 160	SI V160 ENTONCES T160
4	SI Velocidad es 180, ENTONCES el Retardo de tiempo es 180	SI V180 ENTONCES T180
5	SI Velocidad es 200, ENTONCES el Retardo de tiempo es 200	SI V200 ENTONCES T200
6	SI Velocidad es 220, ENTONCES el Retardo de tiempo es 220	SI V220 ENTONCES T220
7	SI Velocidad es 240, ENTONCES el Retardo de tiempo es 240	SI V240 ENTONCES T240
8	SI Velocidad es 260, ENTONCES el Retardo de tiempo es 260	SI V260 ENTONCES T260
9	SI Velocidad es 280, ENTONCES el Retardo de tiempo es 280	SI V280 ENTONCES T280
10	SI Velocidad es 300, ENTONCES el Retardo de tiempo es 300	SI V300 ENTONCES T300
11	SI Velocidad es 320, ENTONCES el Retardo de tiempo es 320	SI V320 ENTONCES T320
12	SI Velocidad es 340, ENTONCES el Retardo de tiempo es 340	SI V340 ENTONCES T340
13	SI Velocidad es 360, ENTONCES el Retardo de tiempo es 360	SI V360 ENTONCES T360

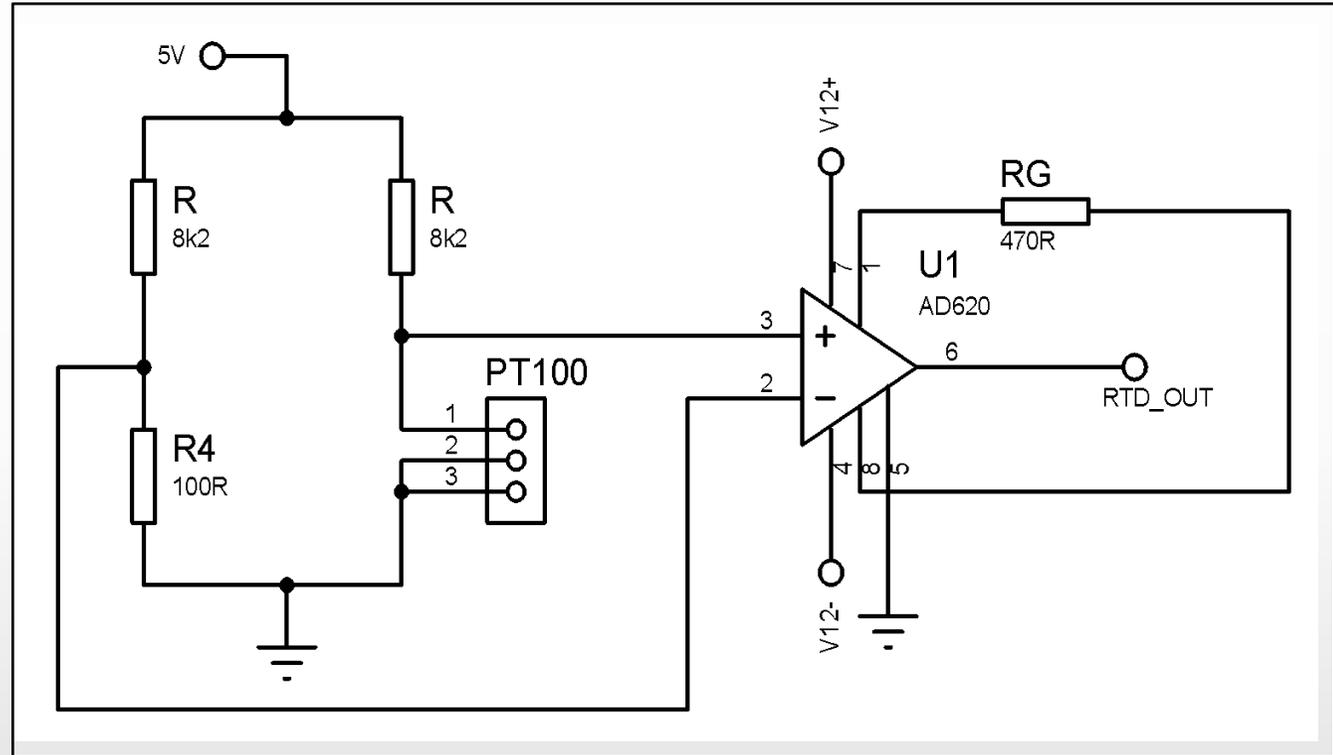
# DISEÑO ELECTRÓNICO



# Circuitos electrónicos

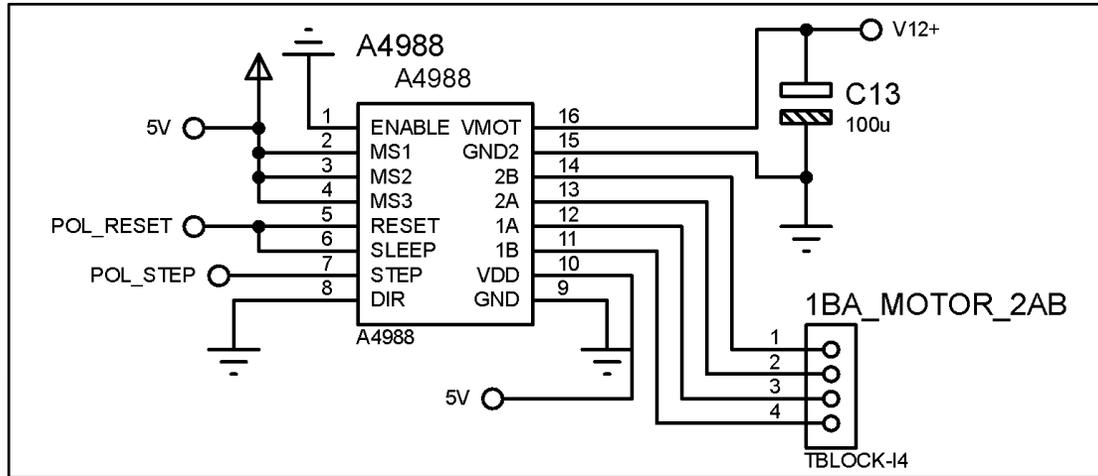


Circuito para la termocupla tipo K

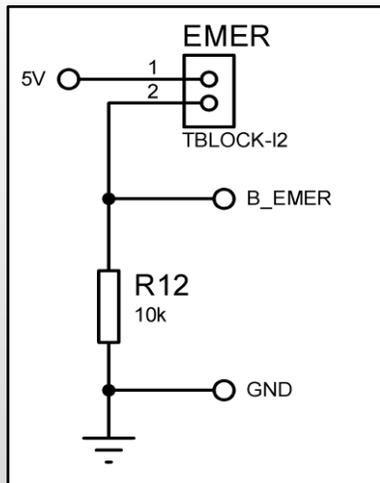


Circuito para el RTD PT100

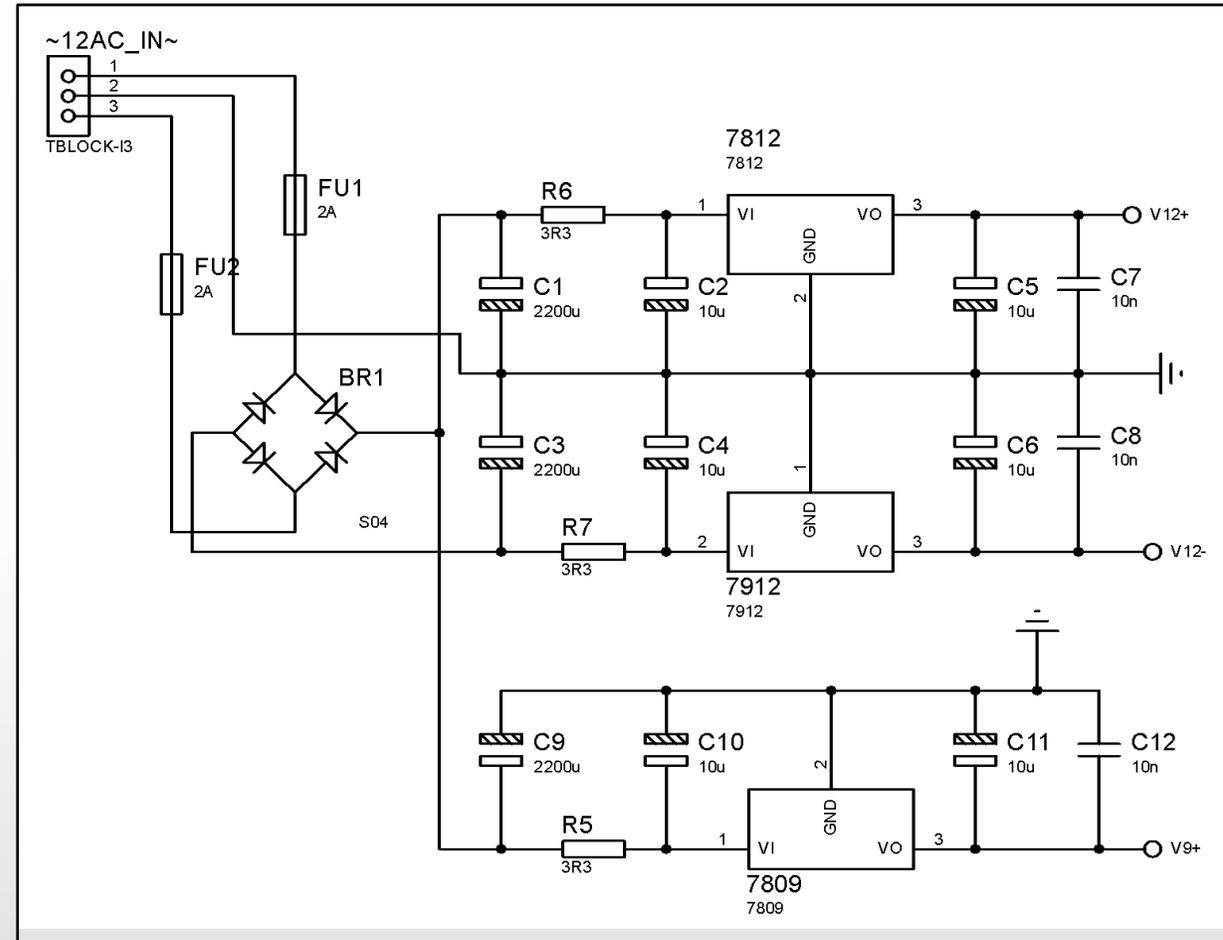
# Circuitos electrónicos



Circuito el driver A4988 y el motor NEMA 17



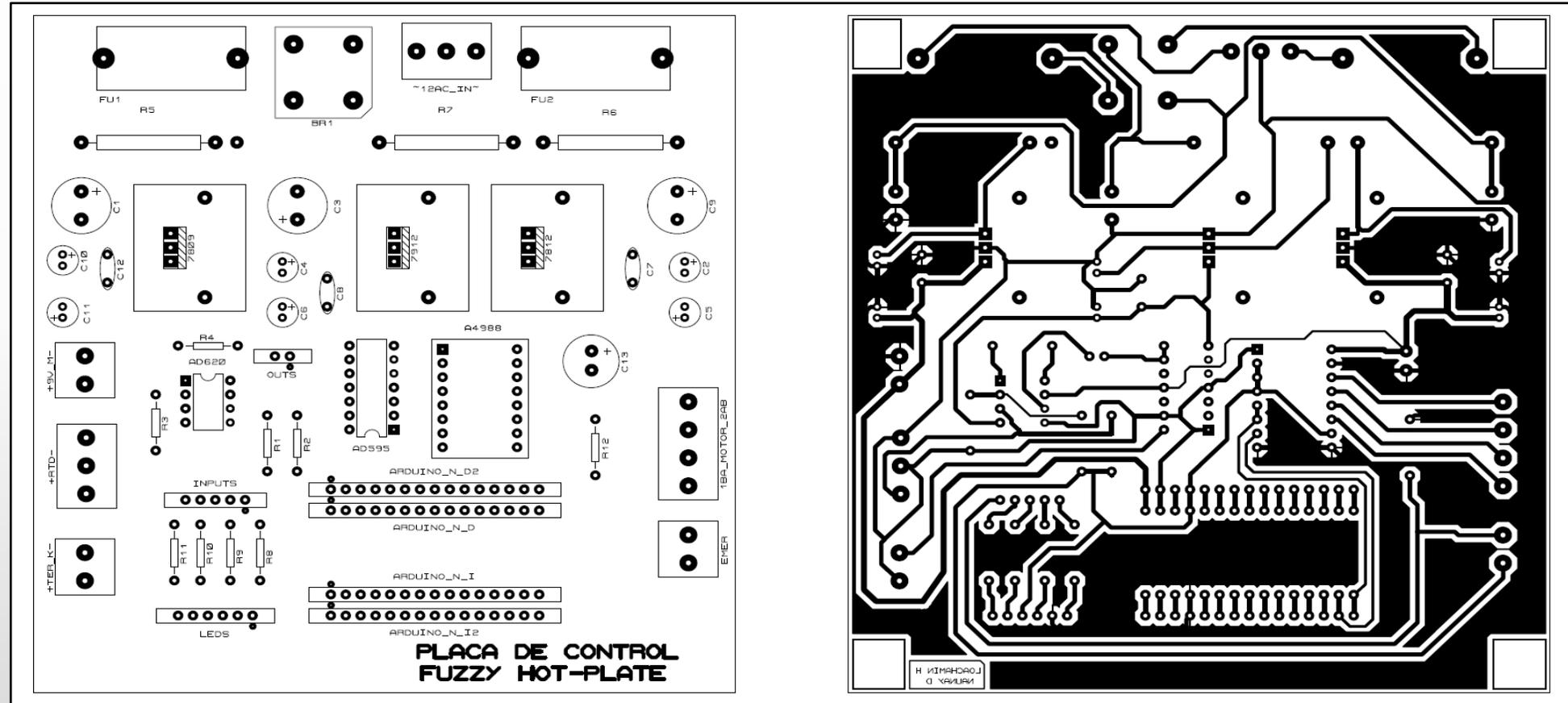
Circuito para el botón de emergencia



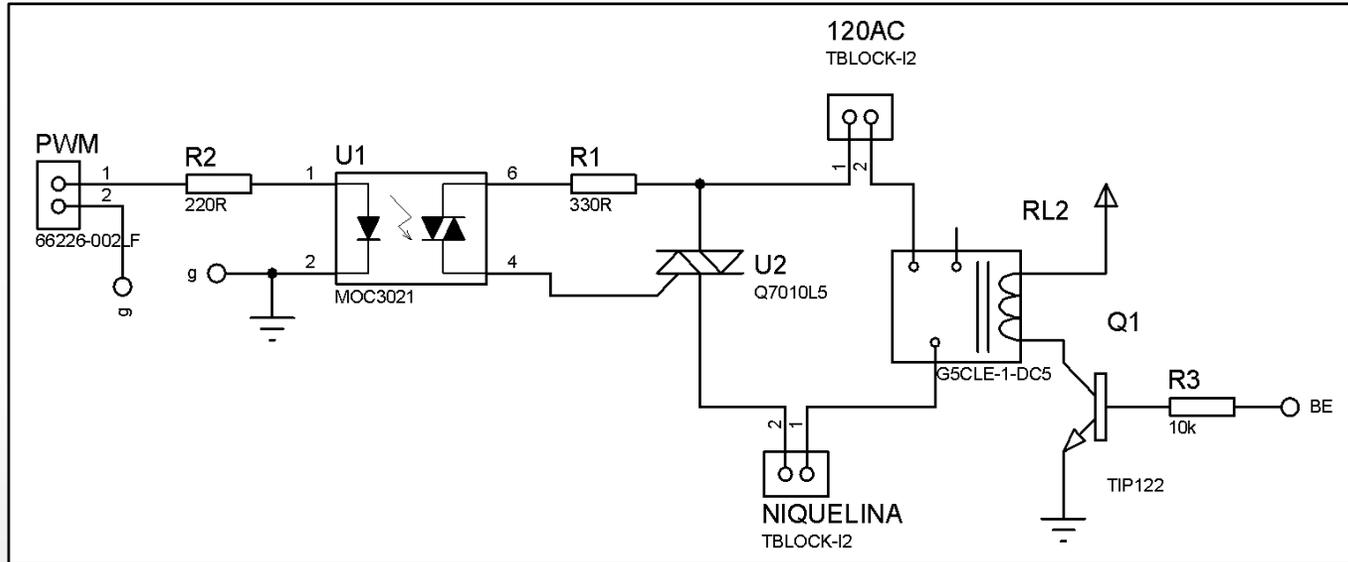
Fuentes de alimentación

# Placa de control

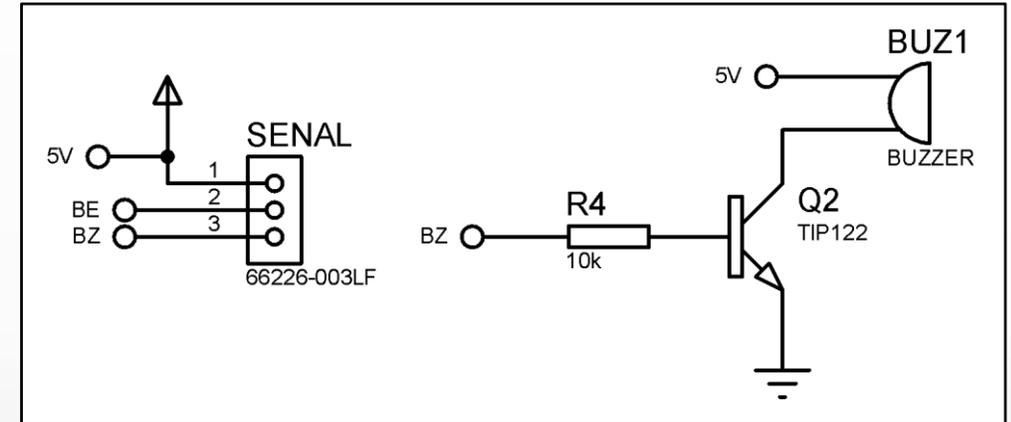
- Bajo la norma IPC-2221



# Circuitos eléctricos



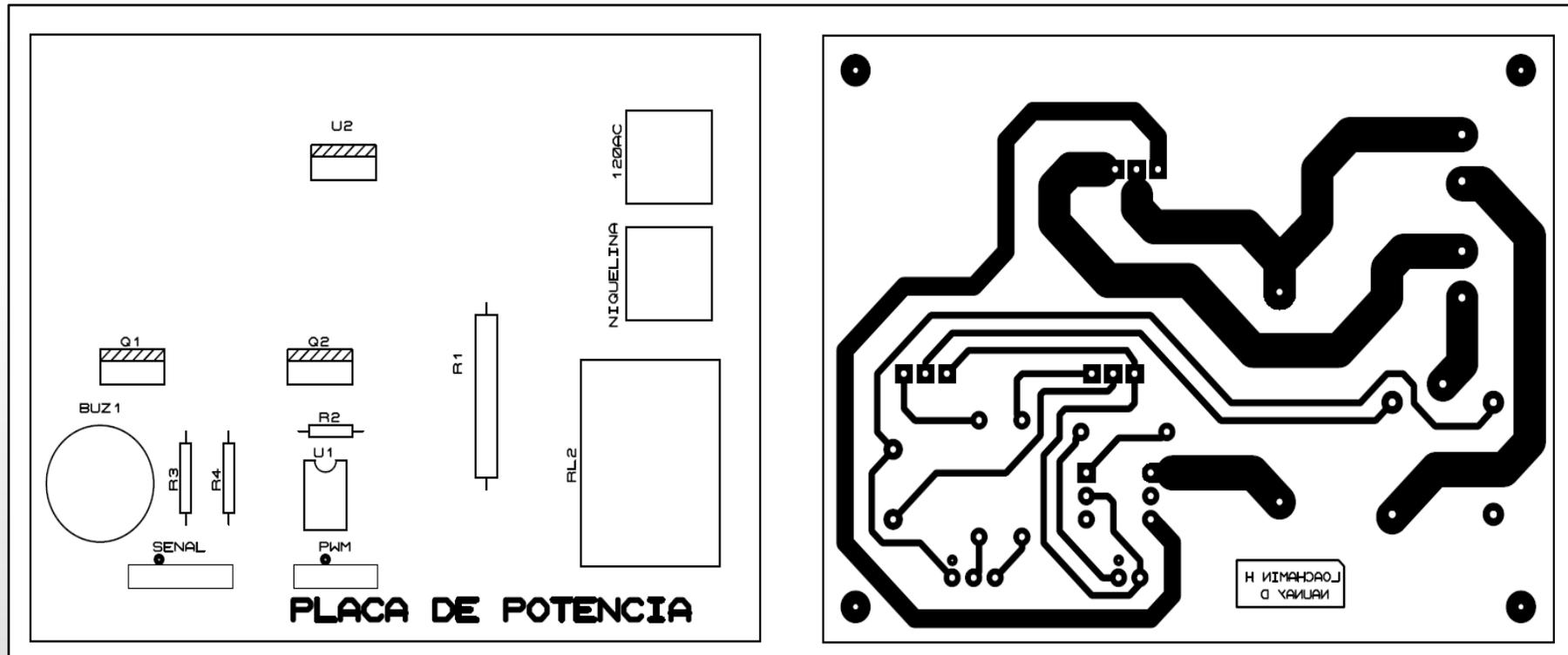
Circuito de control para la resistencia plana



Circuito para la alarma auditiva

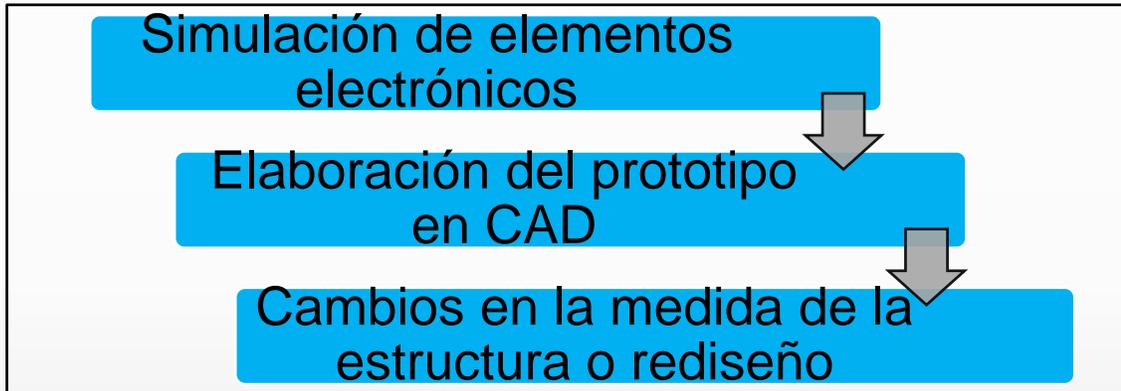
# Placa de potencia

- Bajo la norma IPC-2221

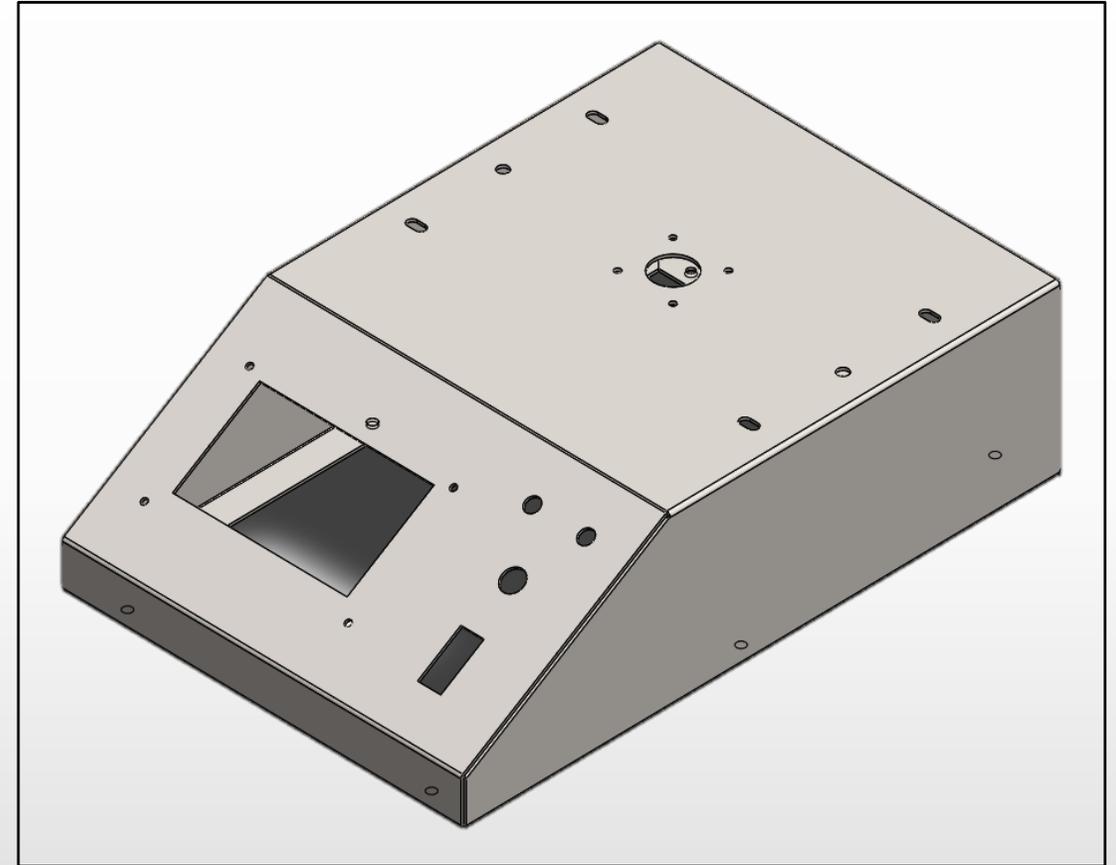


# DISEÑO MECÁNICO Y ESTRUCTURAL

- Metodología de diseño



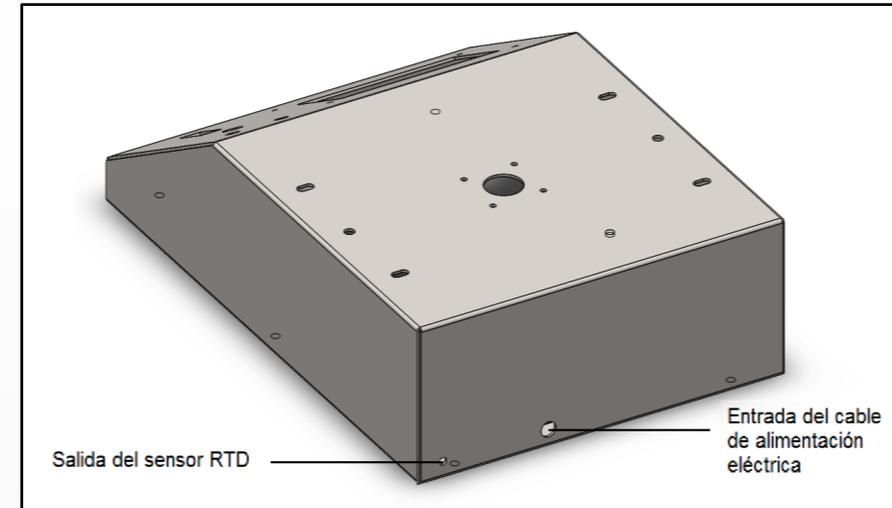
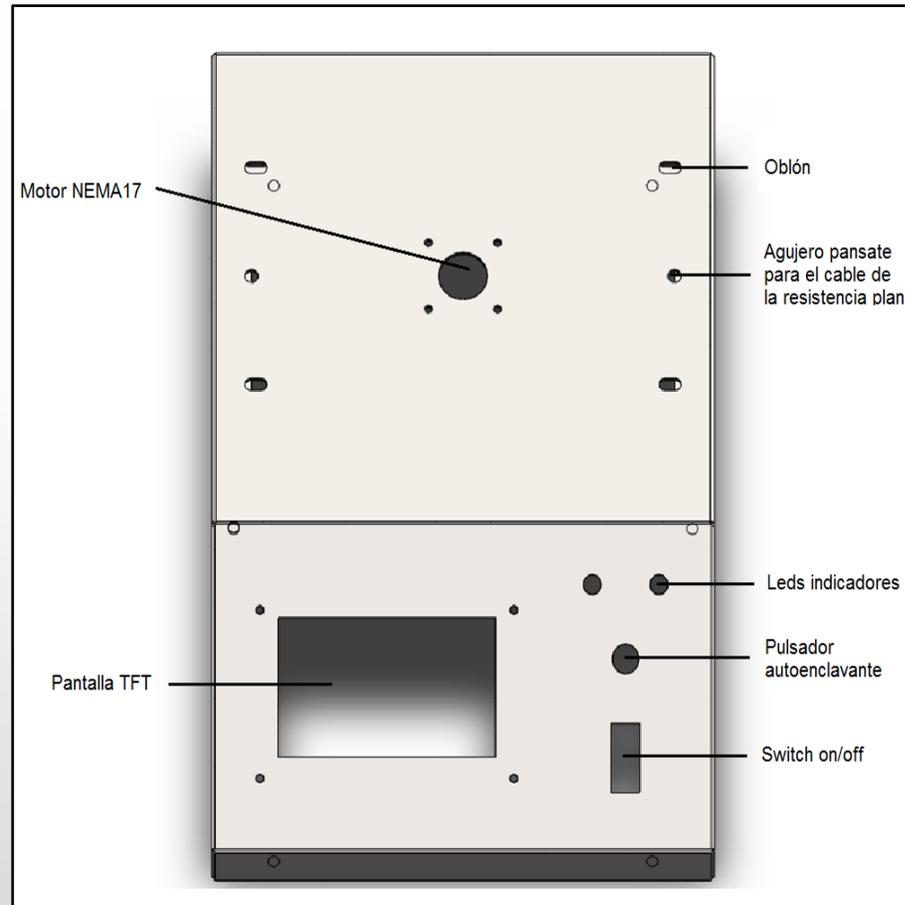
- Estructura: espesor de Chapa metálica de acero INOX = 1,5 (mm)
- No se someterá a cargas, únicamente deberá resistir el procesos de soldadura



Estructura base

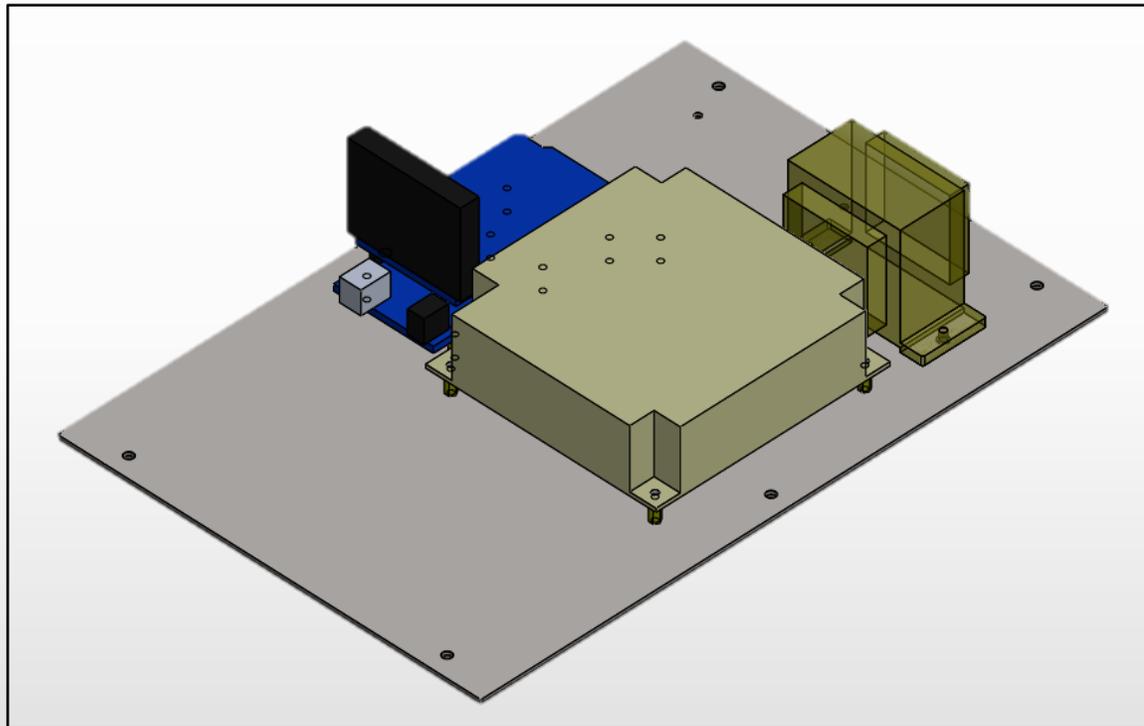
# Diseño mecánico y estructural

- Estructura base

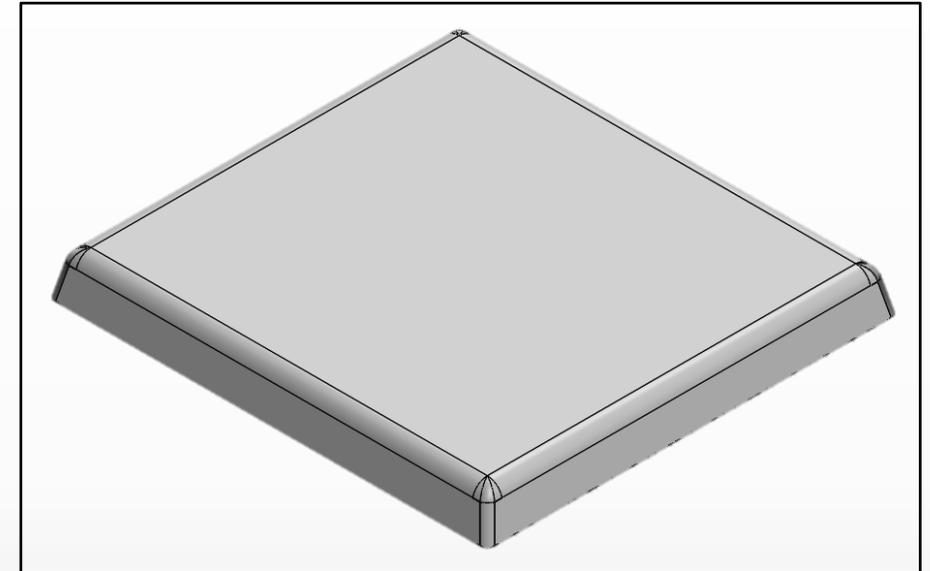


# Diseño mecánico y estructural

- Tapa principal



- Plato térmico:  $e = 4$  (mm)



$$\Delta L = \alpha L_o (T_f - T_o)$$

Ec. 3.23

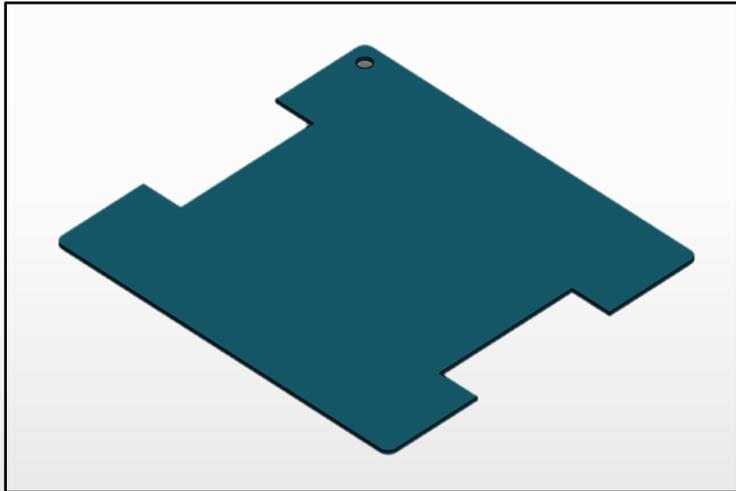
## Dilataciones Térmicas en el Plato Térmico

Especificación	Cantidad (cm)
$\Delta L_{Largo}$	0.1565
$\Delta L_{Ancho}$	0.1636
$\Delta L_{Espesor}$	0.0028

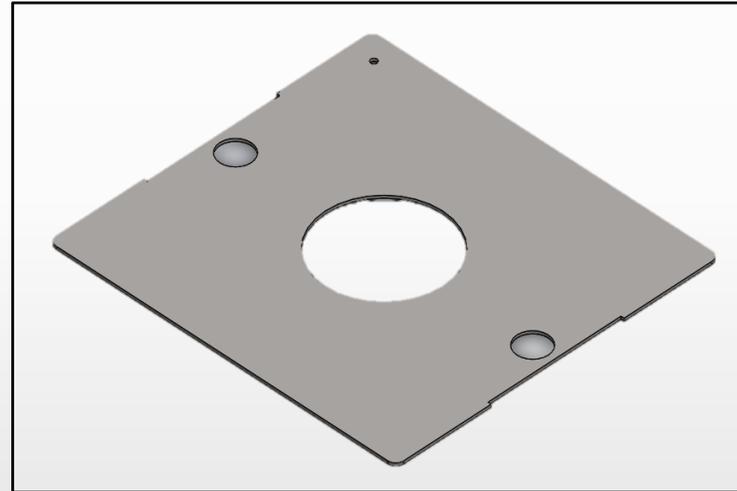
# Diseño mecánico y estructural

## ELEMENTOS AISLANTES

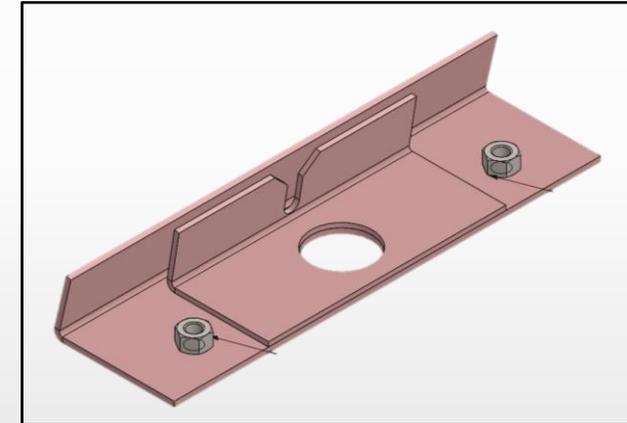
- Tapa térmica



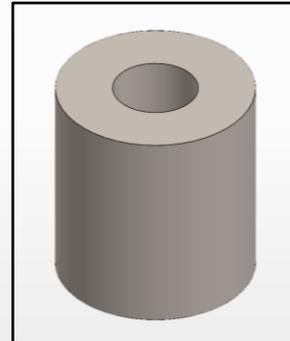
- Tapa térmica principal



- Gancho de sostén

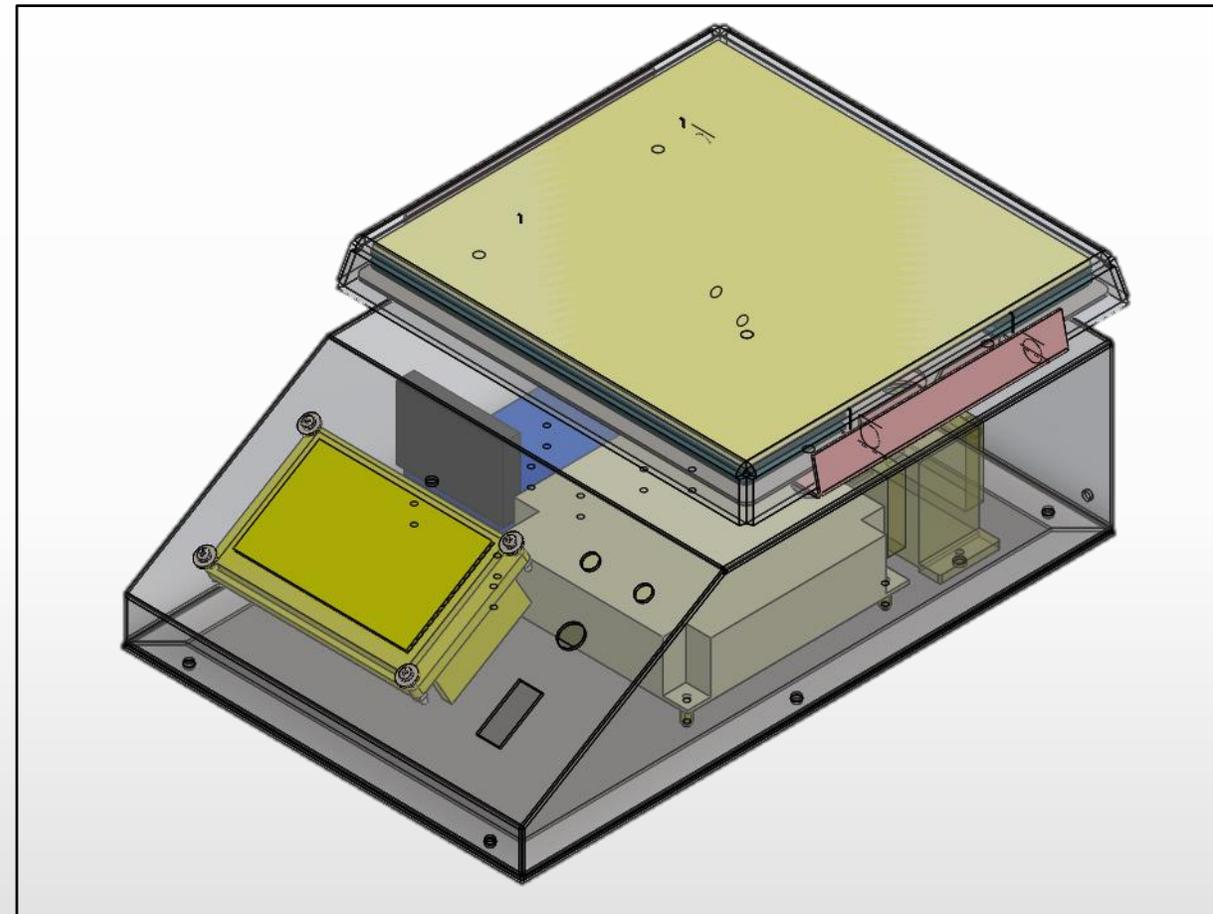
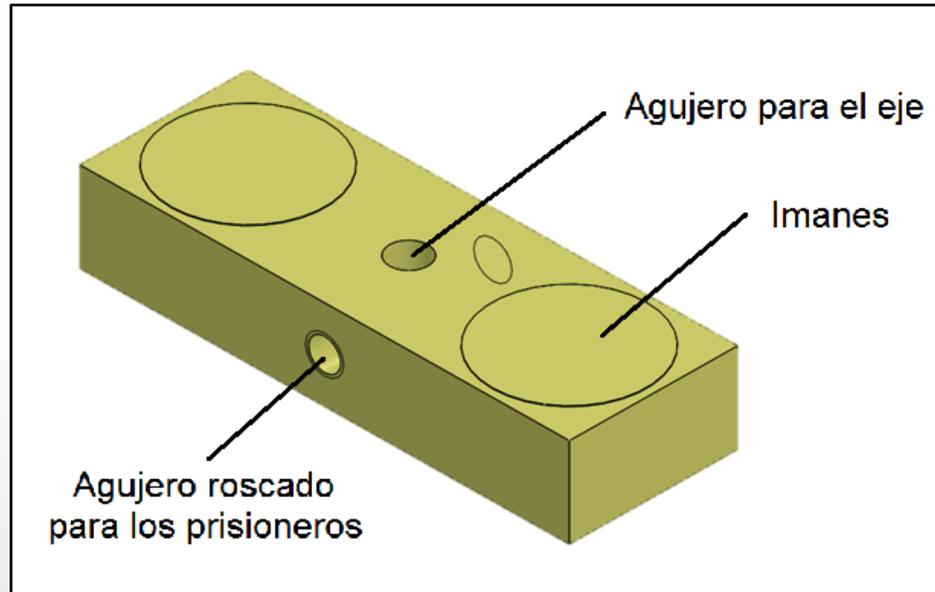


- Alza



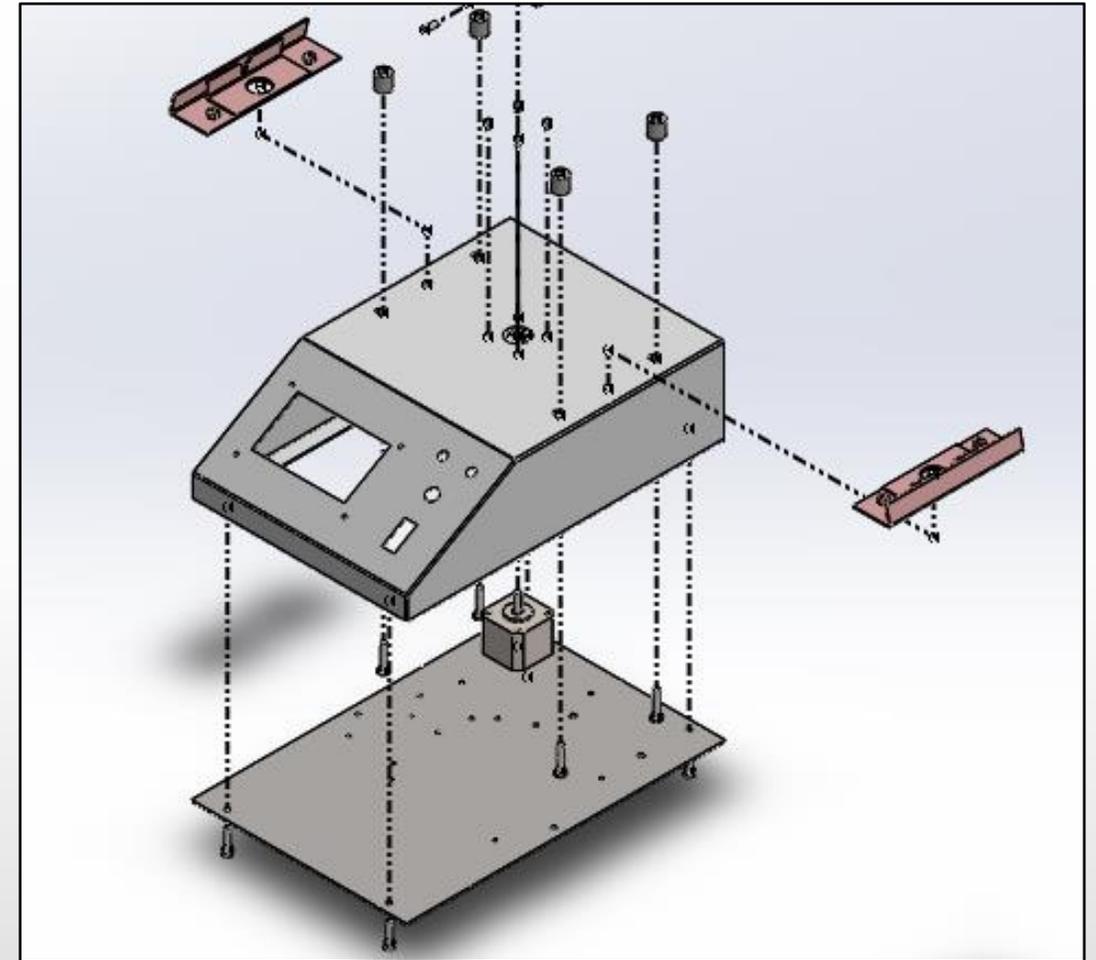
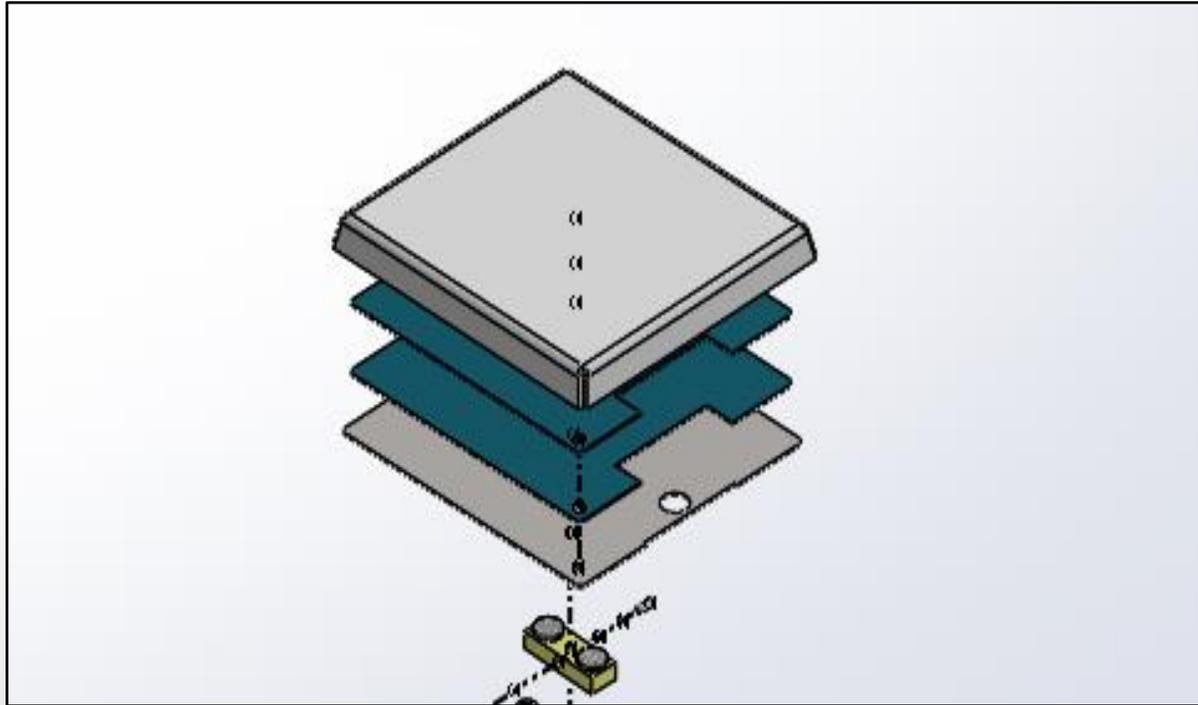
# Diseño mecánico y estructural

- Porta imanes



Simulación del equipo con los elementos electrónicos

# Diseño mecánico y estructural



Vista explosionada del conjunto mecánico

# SISTEMA DE SUJECIÓN MAGNÉTICA



- $F = 0,18 \text{ (N)}$
- La fuerza es la suficiente para permitir la rotación magnética

Prueba experimental de la fuerza de atracción magnética

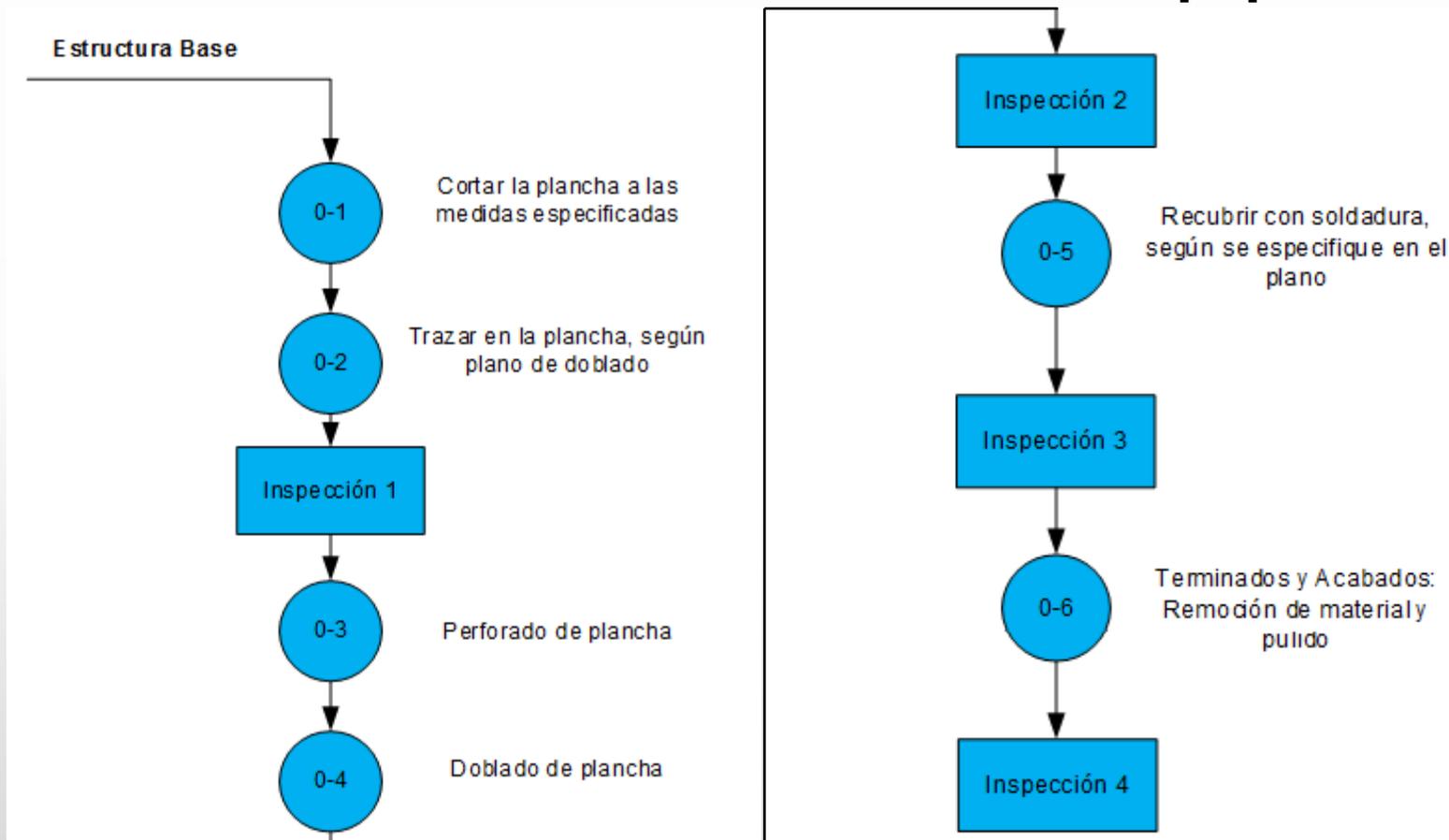
# ÍNDICE

---

- Generalidades, objetivos y alcance del proyecto
- Marco teórico
- Diseño y simulación de equipo Hot Plate
- Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate** ←
- Pruebas de funcionamiento
- Análisis económico
- Conclusiones y Recomendaciones

# CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

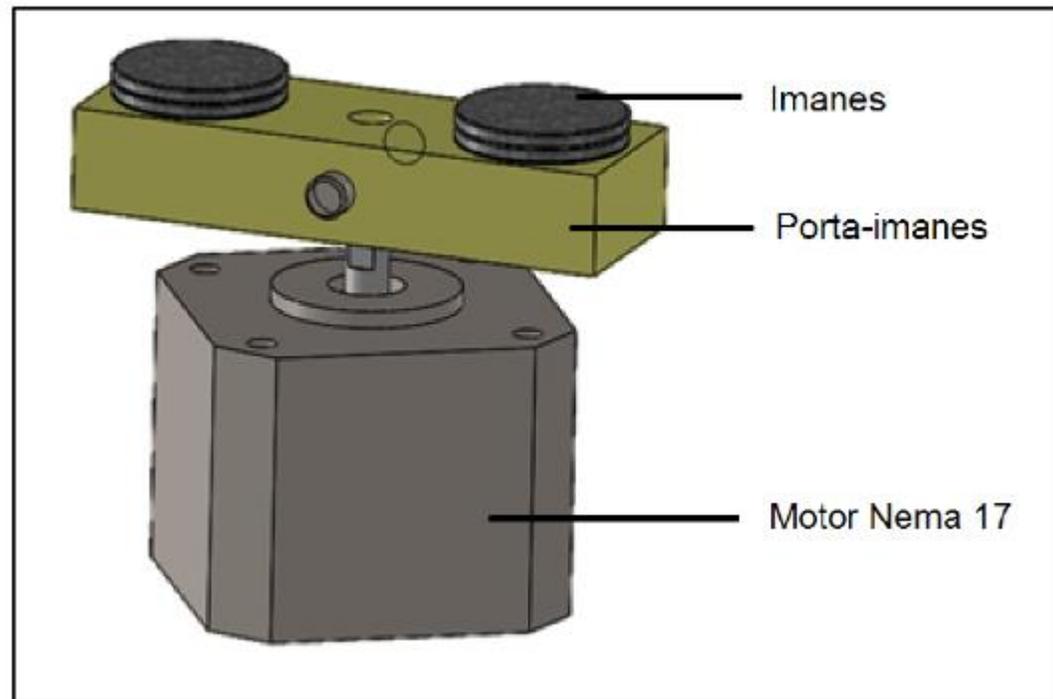
## Construcción de la estructura del equipo



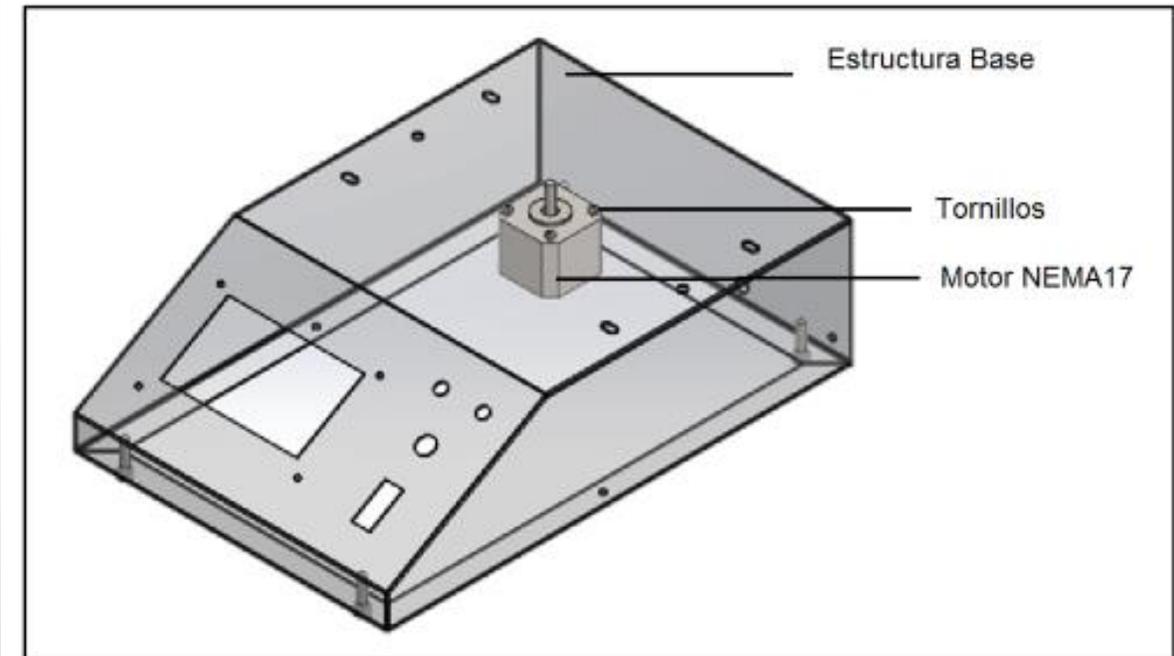
NOMBRE DE LA PIEZA	NÚMERO DE PIEZAS	TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN (horas)
PLATO TÉRMICO	1	10
ESTRUCTURA BASE	1	35
TAPA PRINCIPAL	1	10
TAPA TÉRMICA PRINCIPAL	2	10
TAPA DE PLATO	1	5
GANCHOS	2	10
ALZAS	4	2
TOTAL		82

# CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Implementación del sistema magnético de movimiento rotacional

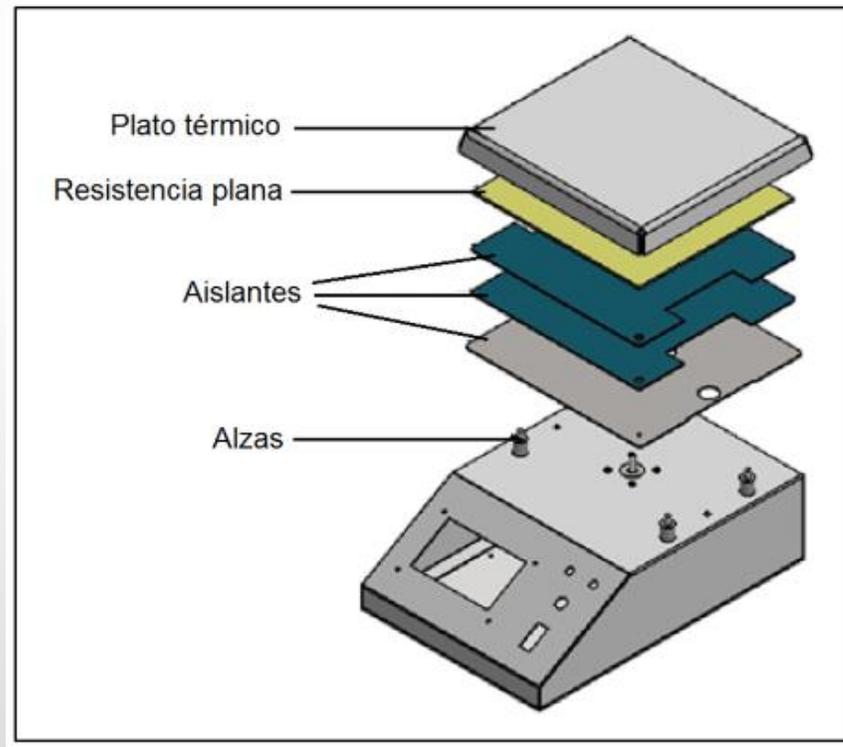


Implementación del motor Nema 17

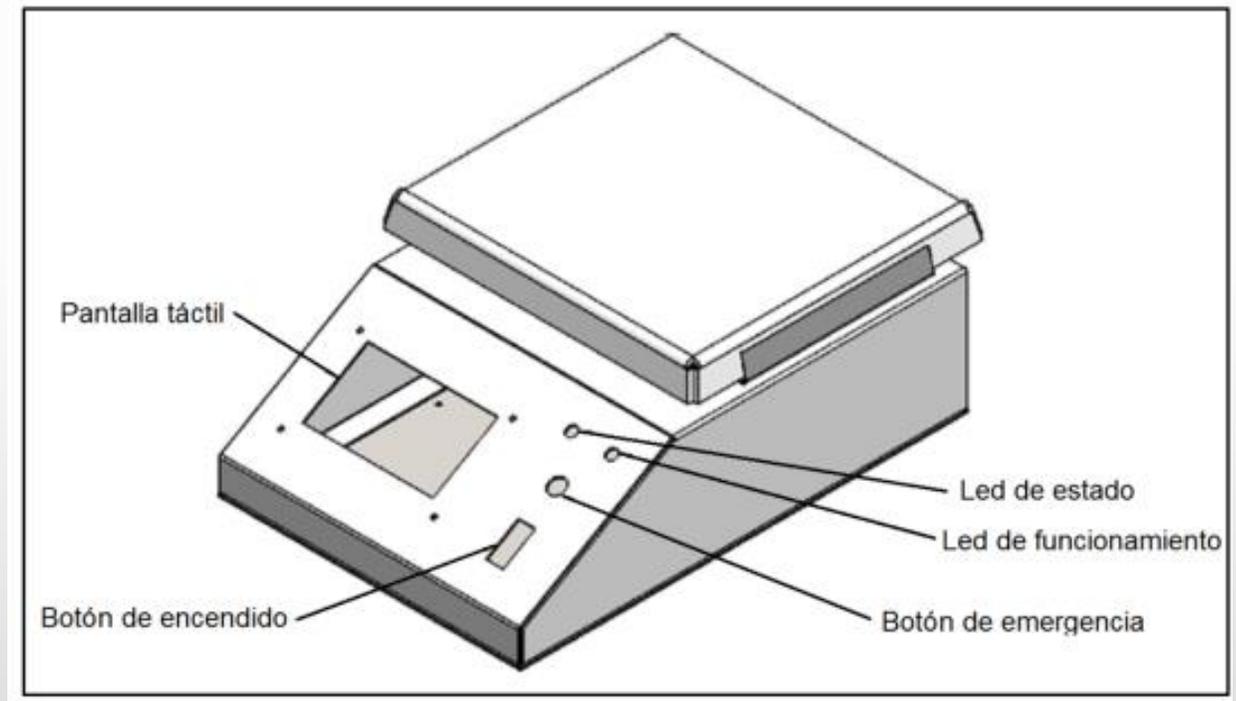


# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

## Implementación de la Resistencia Plana



## Implementación de la Pantalla Táctil y Elementos Electrónicos

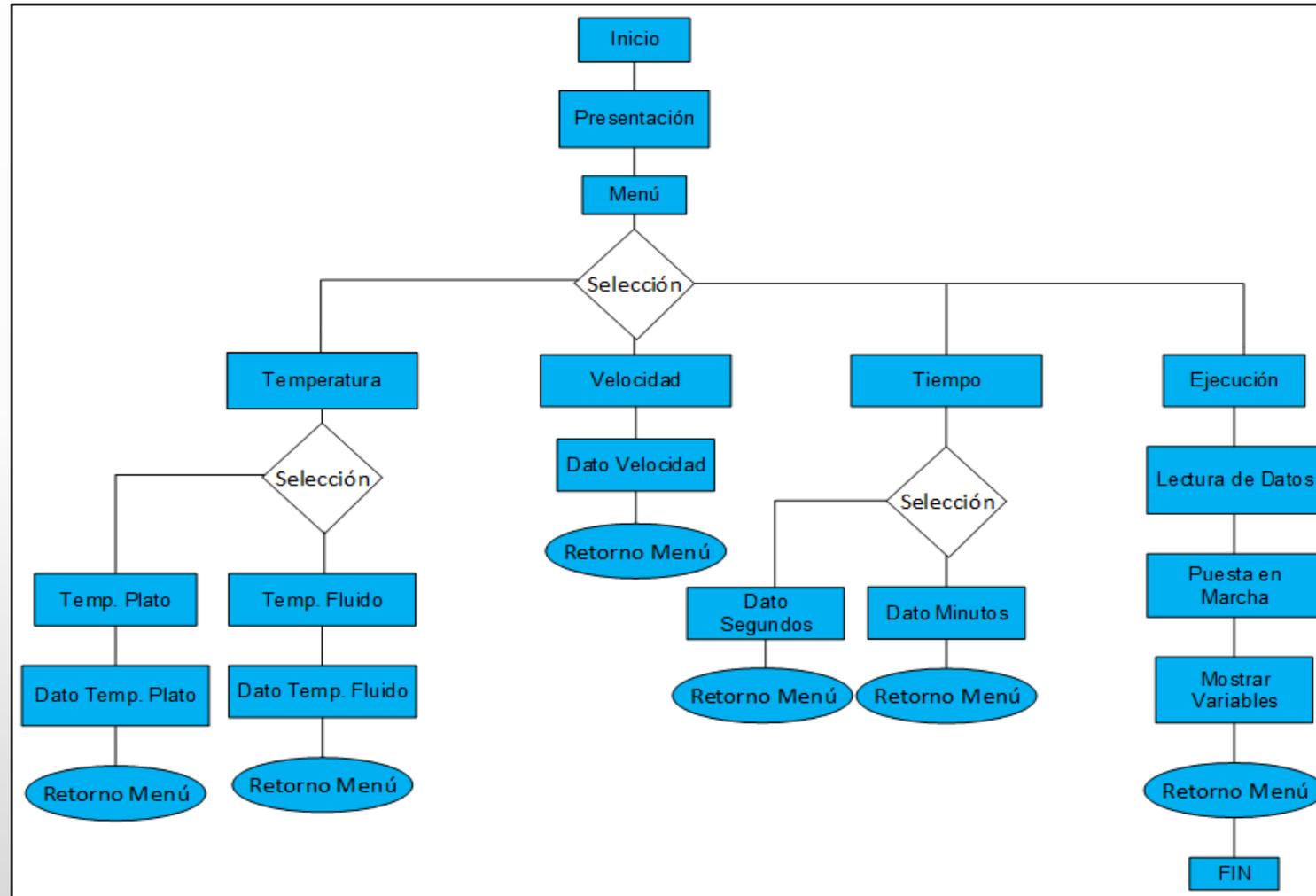


# Implementación de la Pantalla Táctil y Elementos Electrónicos

## Colores del led de acuerdo a la operación del equipo

Operación	Color	
Equipo encendido, sin ejecución	Blanco	
Control de temperatura del plato	Amarillo	
Control de temperatura del fluido	Azul	
Control de agitación	Cian	
Control de agitación y temperatura del plato	Verde	
Control de agitación y temperatura del fluido	Magenta	

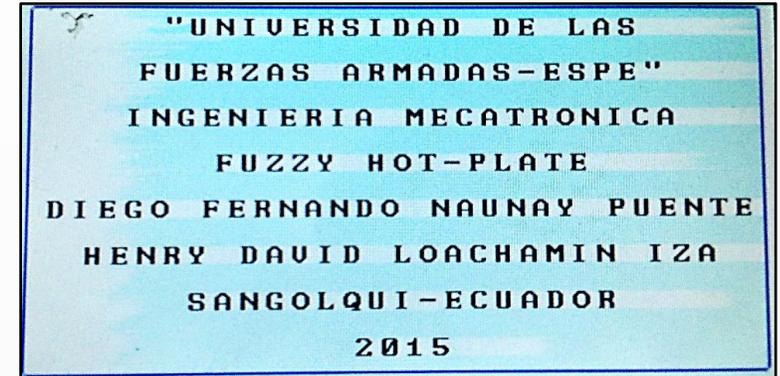
# Programación de la Interfaz de Usuario



# Programación de la Interfaz de Usuario

```
void setup()
{
  myGLCD.InitLCD();
  myGLCD.clrScr();
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myTouch.InitTouch();
  myTouch.setPrecision(PREC_MEDIUM);
  myButtons.setTextFont(BigFont);
  myGLCD.fillScr(255,255,255);
  myGLCD.setColor(VGA_BLACK); //COLOR DE LAS LETRAS
  myGLCD.setBackColor(VGA_WHITE); //COLOR DEL FONDO
}
```

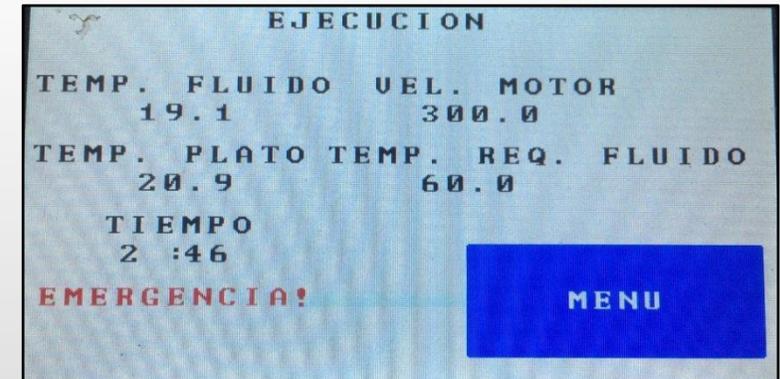
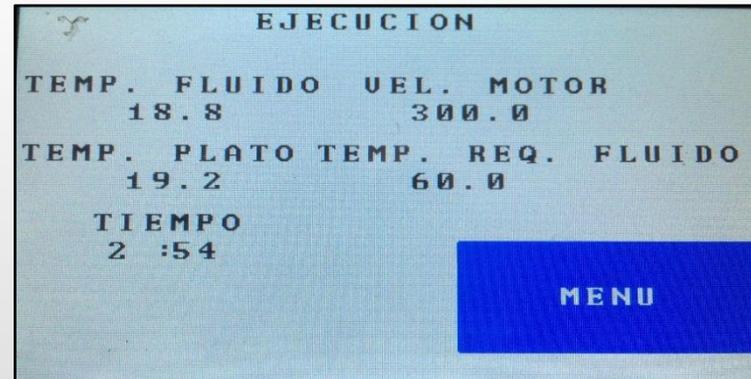
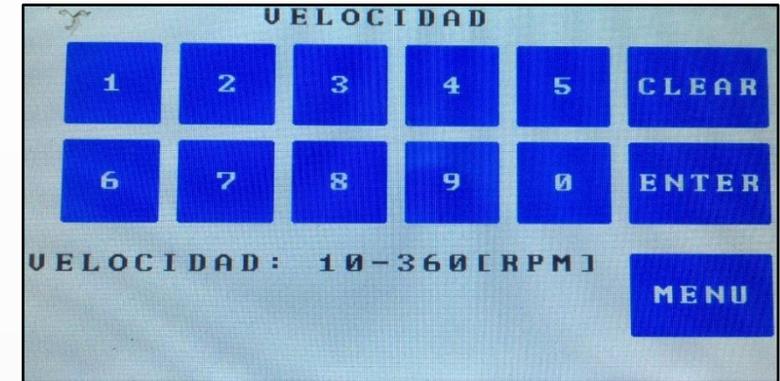
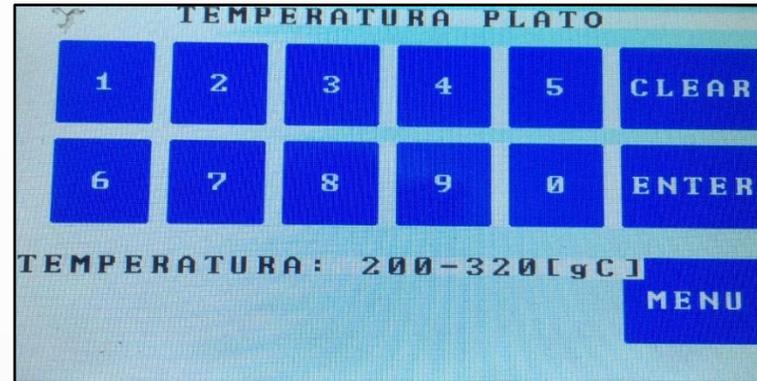
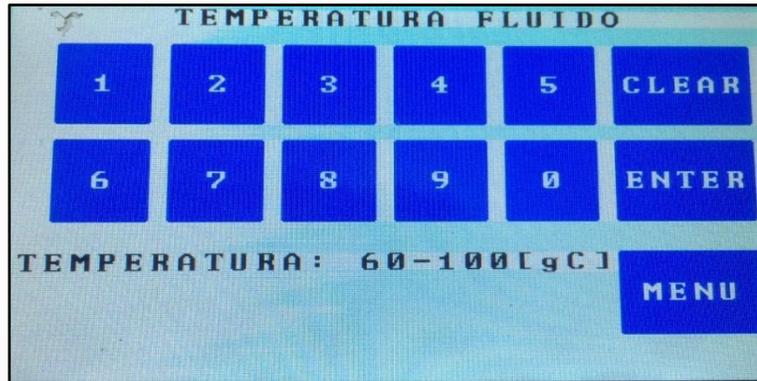
```
//PANTALLA PRESENTACION
myGLCD.fillScr(255,255,255); //0 0 0
myGLCD.setColor(0, 0, 255);
myGLCD.drawRoundRect(6,3,470,259);
myGLCD.drawRoundRect(7,4,469,258);
myGLCD.setColor(0, 0, 0); //COLOR DE LOS NUMEROS
myGLCD.print("\n"UNIVERSIDAD DE LAS", CENTER, 10);
myGLCD.print("FUERZAS ARMADAS-ESPE", CENTER, 42);
myGLCD.print("INGENIERIA MECATRONICA", CENTER, 74);
myGLCD.print("FUZZY HOT-PLATE", CENTER, 106);
myGLCD.print("DIEGO FERNANDO NAUNAY PUENTE", CENTER, 138);
myGLCD.print("HENRY DAVID LOACHAMIN IZA", CENTER, 170);
myGLCD.print("SANGOLQUI-ECUADOR", CENTER, 202);
myGLCD.print("2015", CENTER, 234);
delay(5000);
```



```
void loop(){
  while(1) {
    if (menuc==1)
      {menu(); }
    if (menuc==2)
      {temperatura();}
    if (menuc==3)
      {velocidad();}
    if (menuc==4)
      {tiempo();}
    if (menuc==5)
      {ejecucion();}
    if (menuc==6)
      {temperatura_liquido(); }
    if (menuc==7)
      {temperatura_plato(); }
  }
}
```



# Programación de la Interfaz de Usuario



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

- Lectura de los sensores

```
//PT100-TIPOK
float INPUT_PT100 = A0;
float RES_PT100;
float TEMP_PT100;
float GAIN=1+49.4/0.476;
float R1=8200;
float R2=100;

//TERMOCUPLAK
float INPUT_K = A1;
float ANALOG_K;
float VOLTAGE_K;
float TEMP_F;

//mostrar promedio
float promPT100=0;
float promK=0;
```

```
void loop() {
    //PT100
    RES_PT100= analogRead(INPUT_PT100);
    RES_PT100=RES_PT100*4.9/1023;
    RES_PT100=(RES_PT100*(R1+R2)*(R1+R2)/(5*GAIN*R1-RES_PT100*(R2+R1))+R2);
    TEMP_PT100=((RES_PT100/100)-1)/0.003850;
    acumuladorPT100=acumuladorPT100+TEMP_PT100;

    //TERMOCUPLA K
    ANALOG_K= analogRead(INPUT_K);
    VOLTAGE_K=ANALOG_K*4.9*100/1023;
    TEMP_F=VOLTAGE_K;
    acumuladorK=acumuladorK+TEMP_F;

    if(cont==9){
        promPT100=acumuladorPT100/9;
        promK=acumuladorK/9;
    }
```

```
cont=cont+1;

if (cont>9){
    cont=1;
    acumuladorPT100=0;
    acumuladorK=0;
}

myGLCD.setColor(VGA_BLACK);
myGLCD.print("TEMP. FLUIDO",3, 50);
myGLCD.printNumF(promPT100,1, 70, 70);

myGLCD.print("TEMP. PLATO",3, 100);
myGLCD.printNumF(promK,1, 70, 120);
}
```

# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

- Programación del control difuso

```
//Inicialización de las librerías fuzzy
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzySet.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>

//Inicialización de un nuevo objeto fuzzy
Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();
```

```
//Creación de la entrada fuzzy error
FuzzyInput* errorP = new FuzzyInput(1);

//Creación de las funciones de membresía de entrada
FuzzySet* EP_MP = new FuzzySet(-0.5,-0.5,0,0.55);
errorP->addFuzzySet(EP_MP);
FuzzySet* EP_P = new FuzzySet(0.2,0.55,0.55,0.9);
errorP->addFuzzySet(EP_P);
FuzzySet* EP_MB = new FuzzySet(0.55,0.9,0.9,1.25);
errorP->addFuzzySet(EP_MB);
FuzzySet* EP_M = new FuzzySet(0.9,1.25,1.25,1.6);
errorP->addFuzzySet(EP_M);
FuzzySet* EP_MA = new FuzzySet(1.25,1.6,1.6,1.95);
errorP->addFuzzySet(EP_MA);
FuzzySet* EP_G = new FuzzySet(1.6,1.95,1.95,2.3);
errorP->addFuzzySet(EP_G);
FuzzySet* EP_MG = new FuzzySet(1.95,2.5,3.5,3.5);
errorP->addFuzzySet(EP_MG);

fuzzy->addFuzzyInput(errorP);
```

```
//Creación de la salida fuzzy retardo
FuzzyOutput* pPwmP = new FuzzyOutput(1);

//Creación de las funciones de membresía de salida
FuzzySet* PwmP_MP = new FuzzySet(-10,-10,0,20);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_MP);
FuzzySet* PwmP_P = new FuzzySet(5,20,20,35);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_P);
FuzzySet* PwmP_MB = new FuzzySet(20,35,35,50);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_MB);
FuzzySet* PwmP_M = new FuzzySet(35,50,50,65);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_M);
FuzzySet* PwmP_MA = new FuzzySet(50,65,65,80);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_MA);
FuzzySet* PwmP_G = new FuzzySet(65,80,80,95);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_G);
FuzzySet* PwmP_MG = new FuzzySet(80,100,120,120);
pPwmP->addFuzzySet(PwmP_MG);

fuzzy->addFuzzyOutput(pPwmP);
```

# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

- Programación del control difuso

```
//Ensamble de las reglas difusas

//Regla: "SI errorP = E_MP ENTONCES pPwmP = PwmP_MP"
FuzzyRuleAntecedent* siEP_MP = new FuzzyRuleAntecedent(); // Antecedente a expresión
siEP_MP->joinSingle(EP_MP); // Se añade la función de membresía al antecedente
FuzzyRuleConsequent* entoncesP_PwmP_MP = new FuzzyRuleConsequent(); // Consecuencia a expresión
entoncesP_PwmP_MP->addOutput(PwmP_MP); // Se añade la función de membresía a la consecuencia
// Inicialización de la regla difusa
FuzzyRule* regla01 = new FuzzyRule(1, siEP_MP, entoncesP_PwmP_MP); // Etiqueta
fuzzy->addFuzzyRule(regla01); // Se añade la regla difusa como un objeto difuso

//Regla: "SI errorP = E_P ENTONCES pPwmP = PwmP_P"
FuzzyRuleAntecedent* siEP_P = new FuzzyRuleAntecedent(); // Antecedente a expresión
siEP_P->joinSingle(EP_P); // Se añade la función de membresía al antecedente
FuzzyRuleConsequent* entoncesP_PwmP_P = new FuzzyRuleConsequent(); // Consecuencia a expresión
entoncesP_PwmP_P->addOutput(PwmP_P); // Se añade la función de membresía a la consecuencia
// Inicialización de la regla difusa
FuzzyRule* regla02 = new FuzzyRule(2, siEP_P, entoncesP_PwmP_P); // Etiqueta
fuzzy->addFuzzyRule(regla02); // Se añade la regla difusa como un objeto difuso
```

```
fuzzy->setInput(1, ePlato);
fuzzy->fuzzify();
pPwmPlato=fuzzy->defuzzify(1);
```

# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

## RANGOS DE POTENCIA

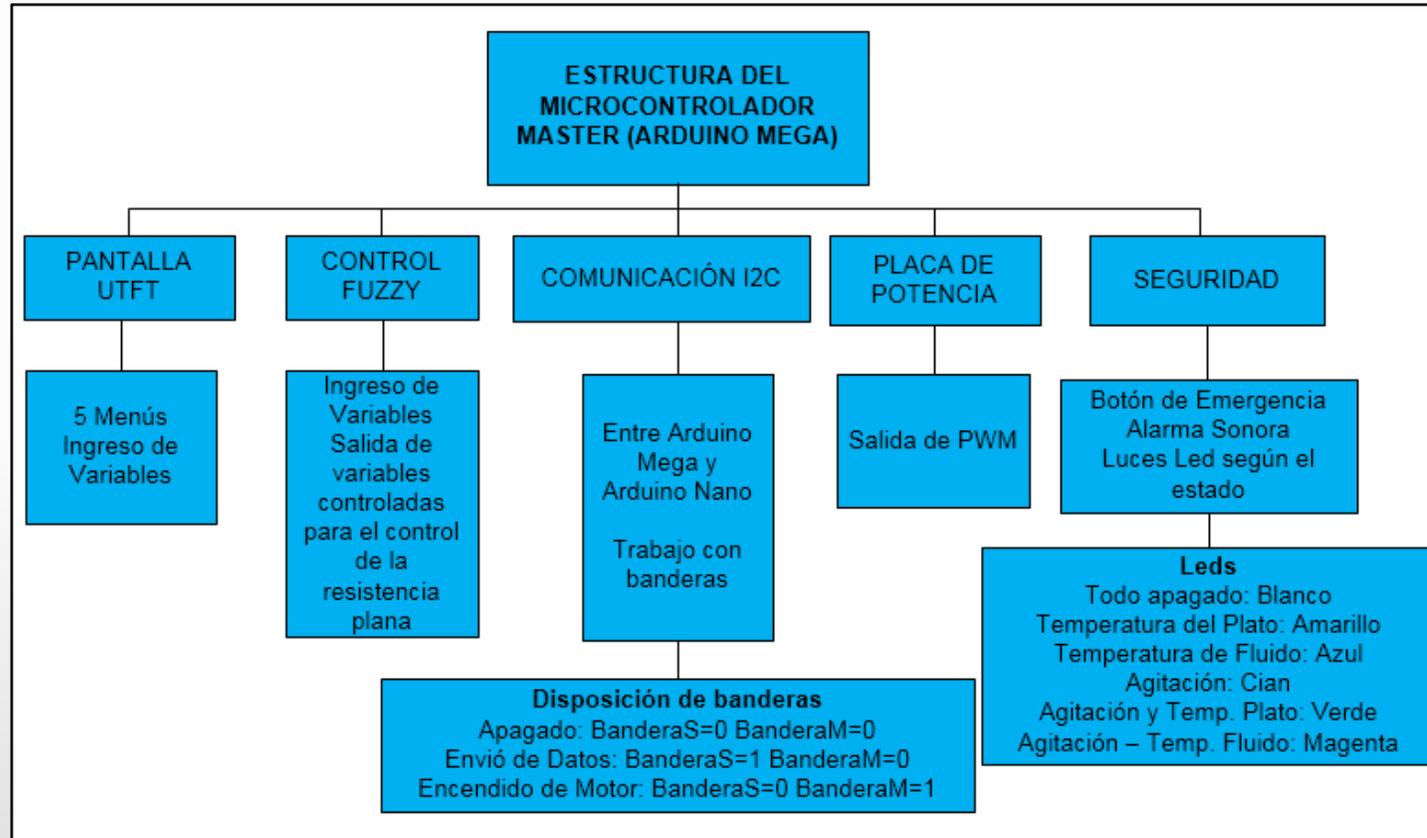
- Control en el plato

Rango de Temperatura	PWM máximo
[180 210)	100
[210 240)	125
[240 270)	150
[270 300)	175
[300 320]	200

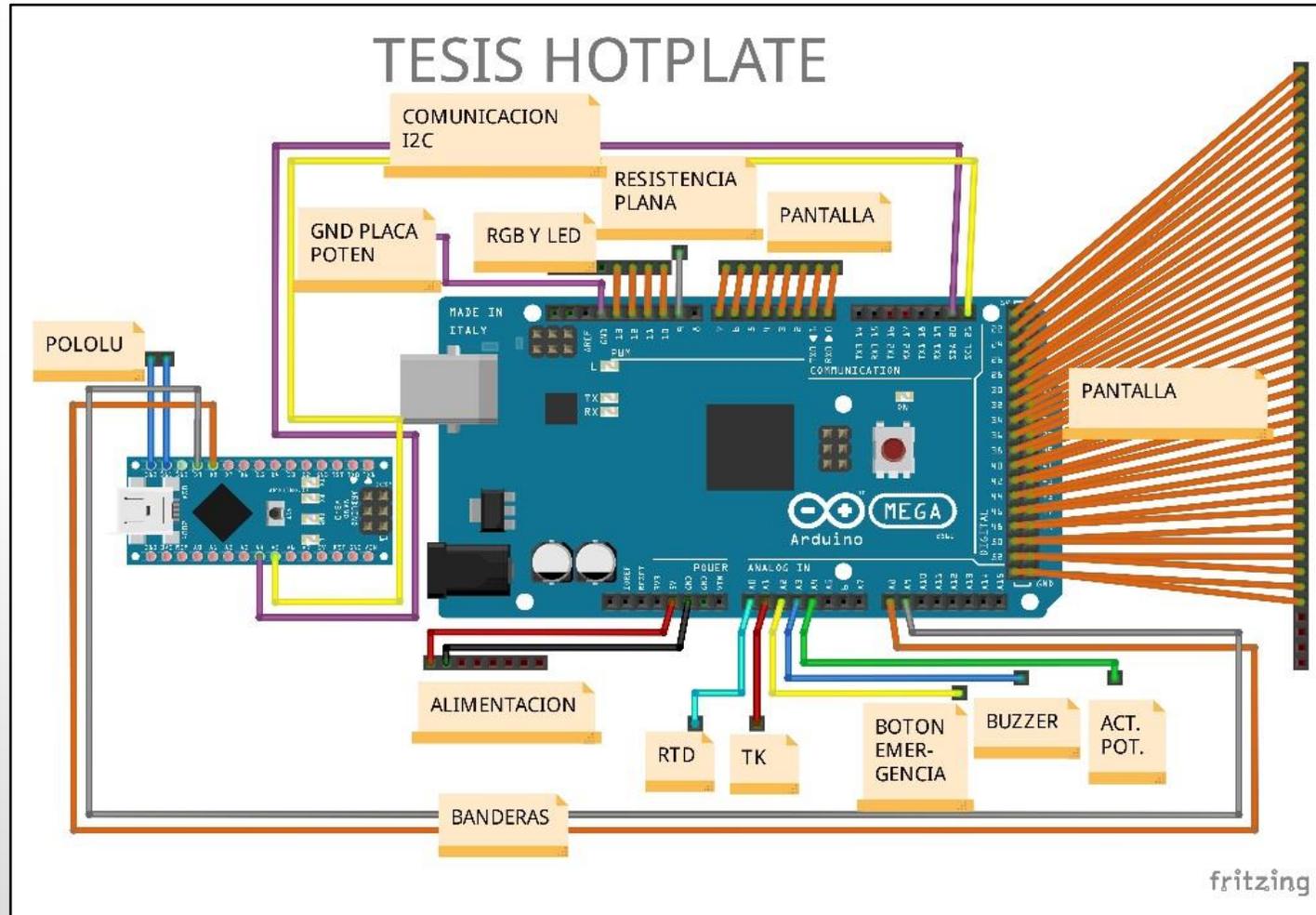
- Control en el fluido

Rango de Temperatura	PWM máximo
[60 70)	40
[70 80)	55
[80 90)	70
[90 100)	150

# CONEXIÓN DEL SISTEMA



# CONEXIÓN DEL SISTEMA



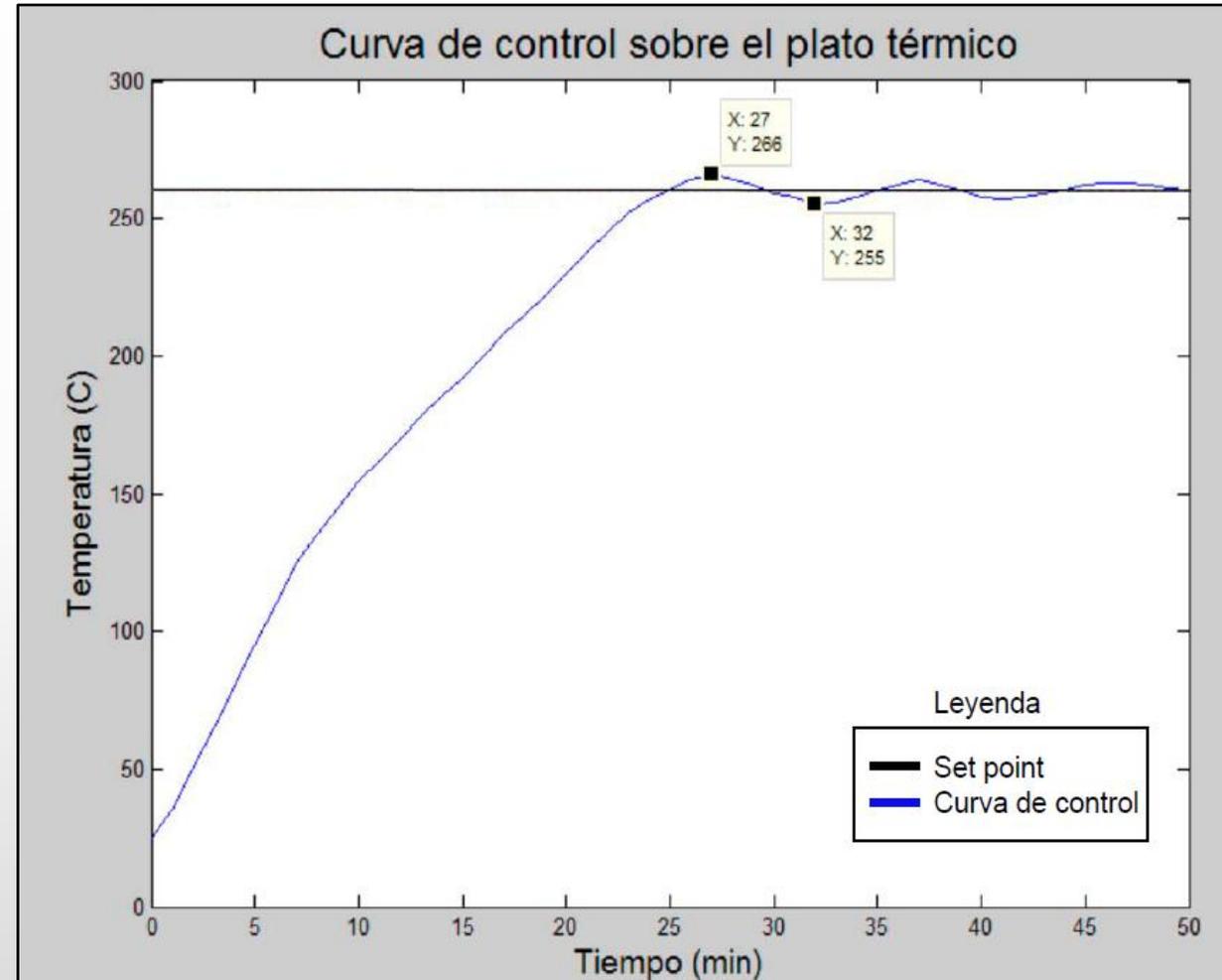
# ÍNDICE

---

- Generalidades, objetivos y alcance del proyecto
- Marco teórico
- Diseño y simulación de equipo Hot Plate
- Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate
- Pruebas de funcionamiento ←
- Análisis económico
- Conclusiones y Recomendaciones

# CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

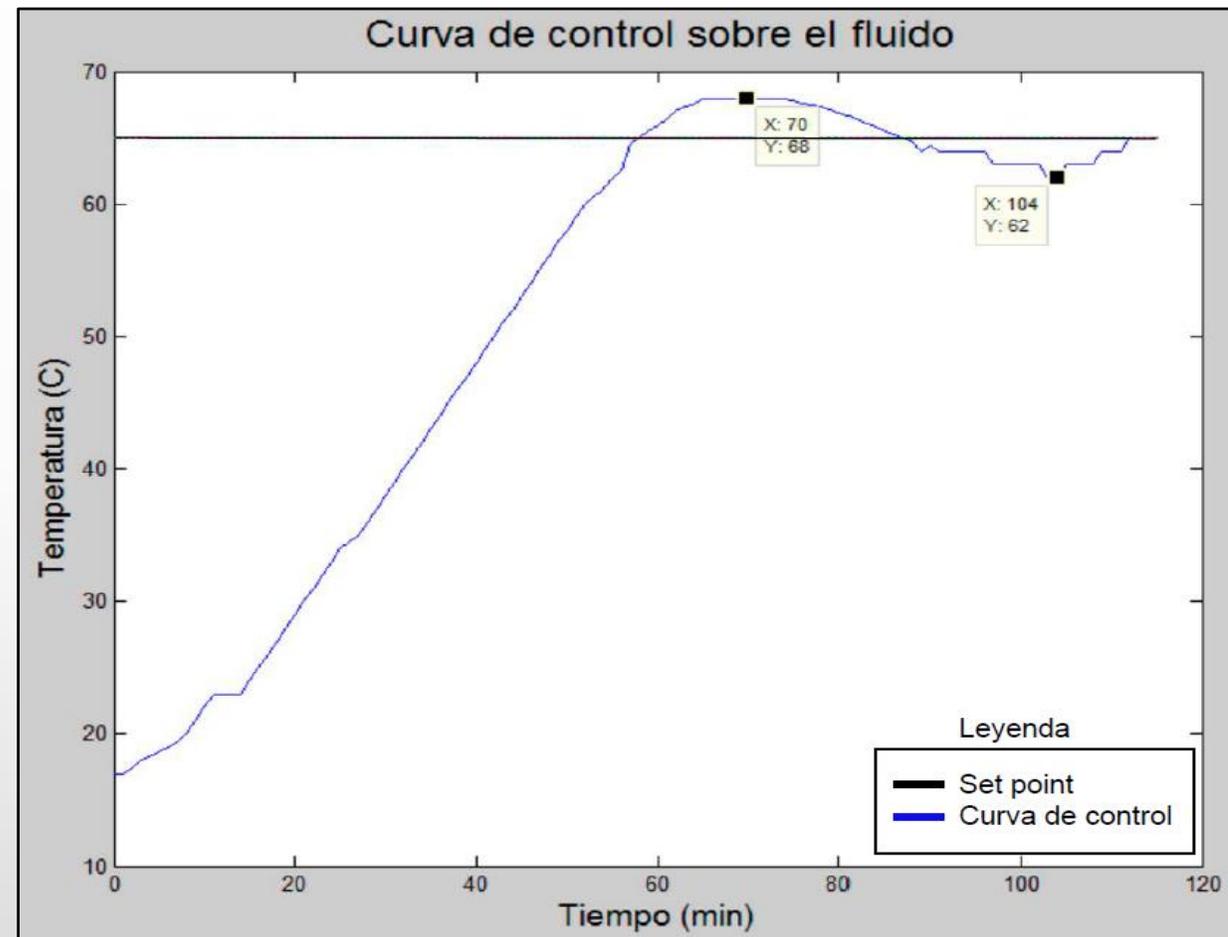
- Control en el plato



Error máximo de  $\pm 6$  (°C)

# CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

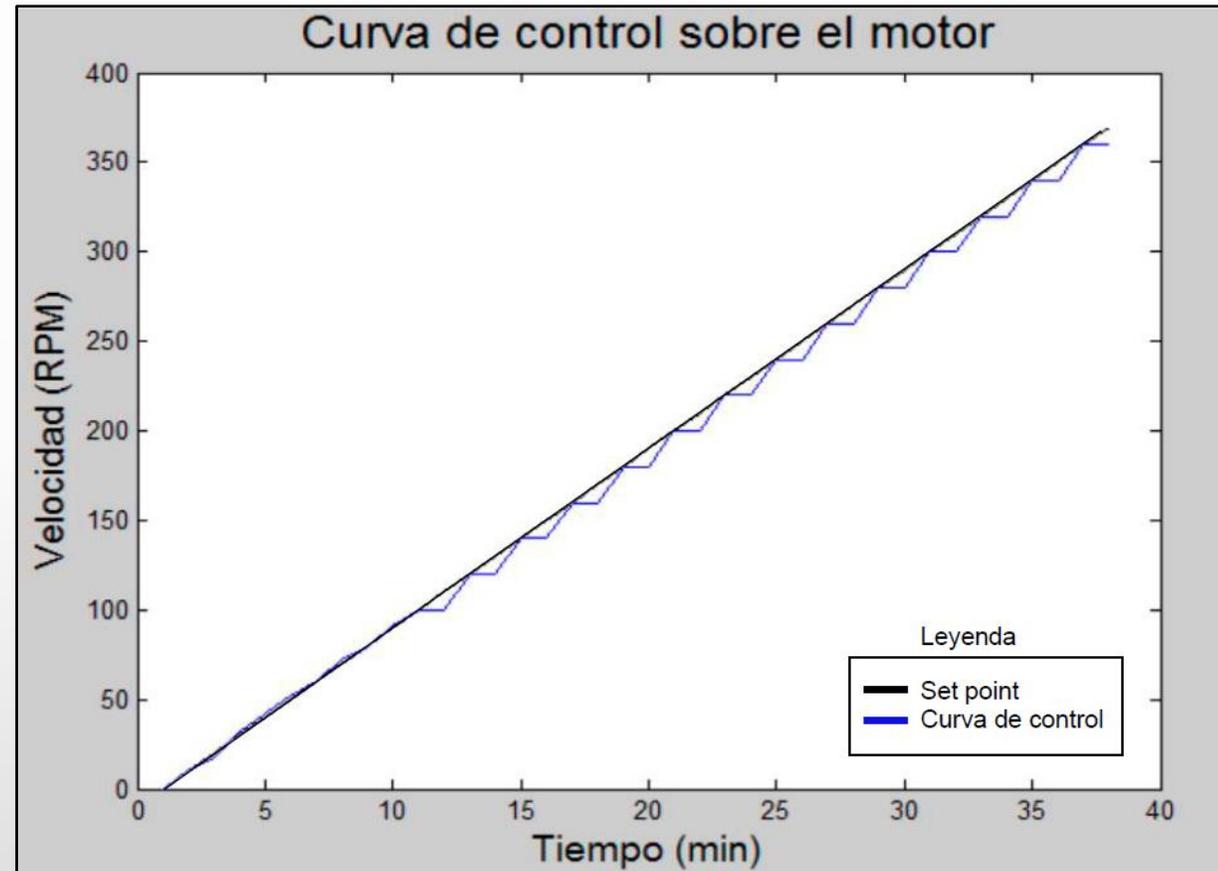
- Control en el fluido



Error máximo de  $\pm 3$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

# CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

- Control en el motor



Error máximo de  $\pm 10$  (RPM)

## Características finales del equipo

Características	Descripción
Peso (Kg)	8.425 Kg
Voltaje de trabajo (VAC)	110 V
Potencia (W)	620 W
Temperatura de Plato (°C)	[200 320]
Temperatura de Fluido (°C)	[60 100]
Velocidad (RPM)	[10 360]



# ÍNDICE

---

- ❑ Generalidades, objetivos y alcance del proyecto
- ❑ Marco teórico
- ❑ Diseño y simulación de equipo Hot Plate
- ❑ Construcción e implementación de los sistemas del Hot Plate
- ❑ Pruebas de funcionamiento
- ❑ Análisis económico** ←
- ❑ Conclusiones y Recomendaciones

# ANÁLISIS DE COSTOS

## Costos directos

- Costos que se relacionen directamente con el producto

## Costos indirectos

- Son imprescindibles para que se termine el proyecto y que funcione de manera óptima el equipo



# ANÁLISIS DE COSTOS

CONCEPTO	COSTO (USD)	%
Costos Directos	\$ 1,306.52	27%
Costos Indirectos	\$ 3,567.62	73%
TOTAL	\$ 4,874.15	

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, de manera específica, la carrera de Ingeniería en Biotecnología, ahorra en este prototipo alrededor de un 50%, debido a que equipos similares poseen un costo aproximado de \$4,000.00, ya que el costo de mercado del equipo diseñado sería de \$1,830.00, con un margen de ganancia del 40%

# CONCLUSIONES

- Se ha diseñado y fabricado un equipo Hot-Plate, con las siguientes características: voltaje de funcionamiento 110 (VAC), potencia 630 (W) y peso de 8.425 (kg).
- El equipo Hot-Plate permite la agitación y el calentamiento de la sustancia, mediante tres tipos de funcionamiento: control de temperatura de plato, control de temperatura del fluido y control de la agitación. Estas opciones pueden trabajar de forma individual o conjunta.
- El sistema de control utilizado en el diseño del equipo está desarrollado en lógica fuzzy y ha sido implementado en arduino, un microcontrolador de acceso y desarrollo libre.
- Los rangos de funcionamiento del equipo Hot-Plate en el control de temperatura del plato son: 200 a 320 (°C).

# CONCLUSIONES

- Los rangos de funcionamiento del equipo Hot-Plate en el control de temperatura del líquido son: 60 a 100 (°C).
- Los rangos de funcionamiento del equipo Hot-Plate en el control de velocidad de agitación son: 10 a 360 (RPM).
- El equipo es funcional y permite eficiencia energética, pues reduce la potencia utilizada y disminuye los tiempos de funcionamiento, garantizando que el algoritmo de control, cumple los requerimientos exigidos para el desarrollo del proyecto.
- El diseño estructural del equipo, permite que sea resistente a posibles derrames de fluidos cuando el equipo está en funcionamiento.
- El diseño del equipo Hot-Plate, ha permitido implementar nuevas tecnologías, promoviendo de esta manera un repunte en el desarrollo de equipos en el país, enmarcado con el avance tecnológico a nivel mundial.



# CONCLUSIONES

- El equipo Hot-Plate posee un sistema HMI, completo y de fácil entendimiento, que permite una fácil interacción con el equipo, en el ingreso de datos y la visualización de variables en tiempo real.
- El sistema de seguridad implementado, tiene la posibilidad de mostrar avisos a través de alarmas visuales y auditivas, permitiendo la comunicación al usuario sobre las alertas, para dar aviso sobre la culminación de una tarea programada en el equipo.
- El uso de materiales con un coeficiente de conductividad térmica alto, permite el ahorro de tiempo en la transmisión térmica hacia el fluido, haciendo que el sistema tenga una respuesta más rápida a las acciones de control.
- La selección de elementos se ha hecho de manera correcta, debido a que el dimensionamiento de los componentes electrónicos han permitido obtener los resultados esperados en el funcionamiento del equipo.

# CONCLUSIONES

- Los planos mecánicos se realizaron según la norma CPE INEN 003, y en concordancia a las normas de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Una vez realizado el análisis económico y las pruebas de funcionamiento se ha determinado que, el desarrollo de este proyecto es una gran aportación para la investigación y desarrollo tecnológico de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

# RECOMENDACIONES

- Utilizar las normas de seguridad y precauciones para el manejo de equipos, en el laboratorio.
- Se recomienda al usuario leer el manual de operación del equipo atentamente, antes de uso del mismo.
- El equipo ha sido diseñado contra el derramamiento de fluidos. A pesar de ello, es recomendable prevenir que los fluidos se derramen sobre el equipo para prolongar la vida útil del equipo.
- Limitar el uso del equipo, permitiendo que la temperatura de la estructura que contiene los elementos electrónicos no sobrepase 70(°C). Por esta razón, se recomienda utilizar en intervalos de 2 horas de funcionamiento y 2 horas apagadas para permitir el enfriamiento de los componentes.

## RECOMENDACIONES

- Cuando se movilice el equipo en un periodo largo de tiempo, verificar todas las conexiones de los distintos componentes eléctricos y electrónicos antes de encender el equipo, para evitar que se produzcan cortocircuitos.
- Se debe de tomar en cuenta las especificaciones técnicas y rangos de trabajo de los sensores, para evitar daños en los equipos electrónicos.
- El presente proyecto, ha sido realizado como un acercamiento al desarrollo de equipos tecnológicos en el país, integrando diversas áreas de investigación, se recomienda realizar proyectos similares con apoyo de entidades públicas y privadas.
- En base a la investigación realizada en este proyecto se recomienda continuar con el desarrollo de equipos similares, con lógica difusa.



GRACIAS  
POR SU ATENCIÓN

