



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

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**“SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE MOLDEO POR  
INYECCIÓN, UTILIZANDO VÁLVULAS HIDRÁULICAS PROPORCIONALES”**

**Autor:** Pachacama Moreno Bernardo Paul

**Director:** Ing. Terneus Páez Carlos Francisco



# Contenido

1. Introducción

---

2. Objetivos

---

3. Revisión de la literatura

---

4. Metodología y diseño

---

5. Pruebas y resultados

---

6. Conclusiones y recomendaciones



# 1. Introducción

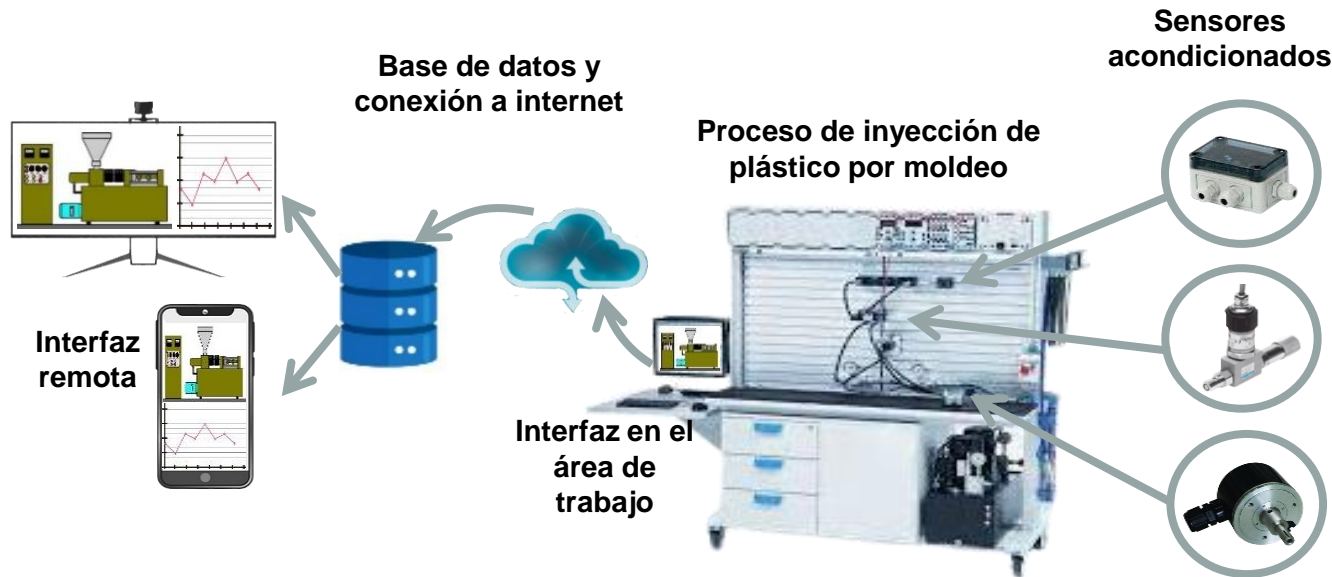
La educación universitaria se centra en el aprendizaje en aplicaciones reales de la industria, como lo es la inyección de plásticos por moldeo



El proyecto implica simular e implementar el proceso de moldeo por inyección con hidráulica proporcional e internet de las cosas, enfocado en la educación de los estudiantes.



Se utiliza una HMI estática y en línea para mostrar el proceso a los estudiantes, así como el control de temperatura mediante un PID.



# 2. Objetivos

## Objetivo general

- Implementar de manera didáctica el proceso de moldeo por inyección, utilizando válvulas hidráulicas proporcionales.

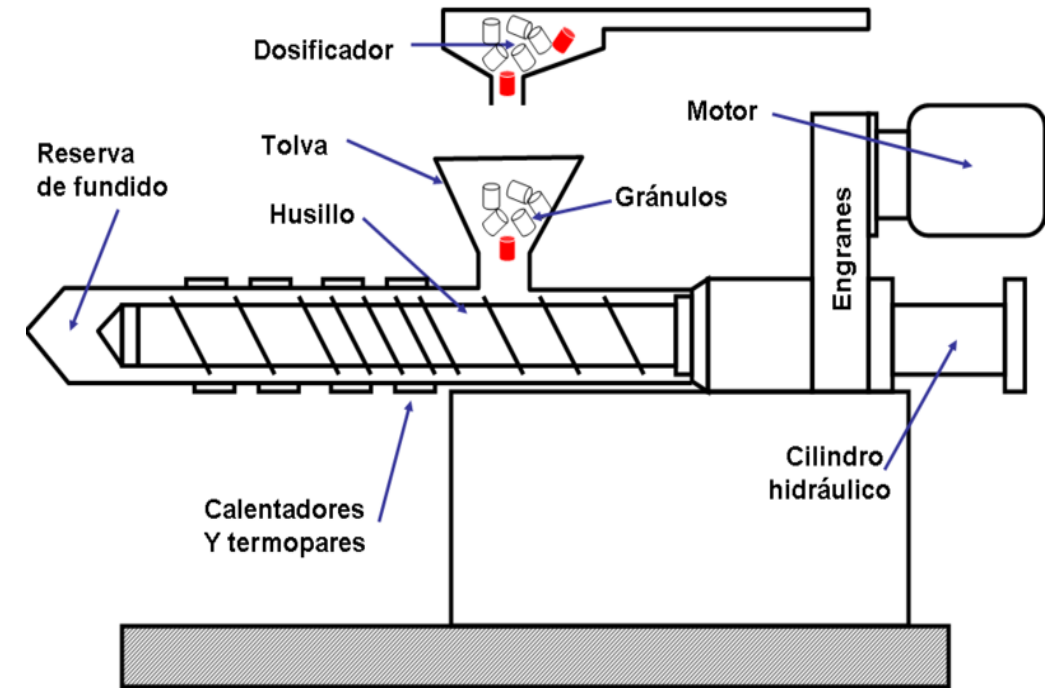
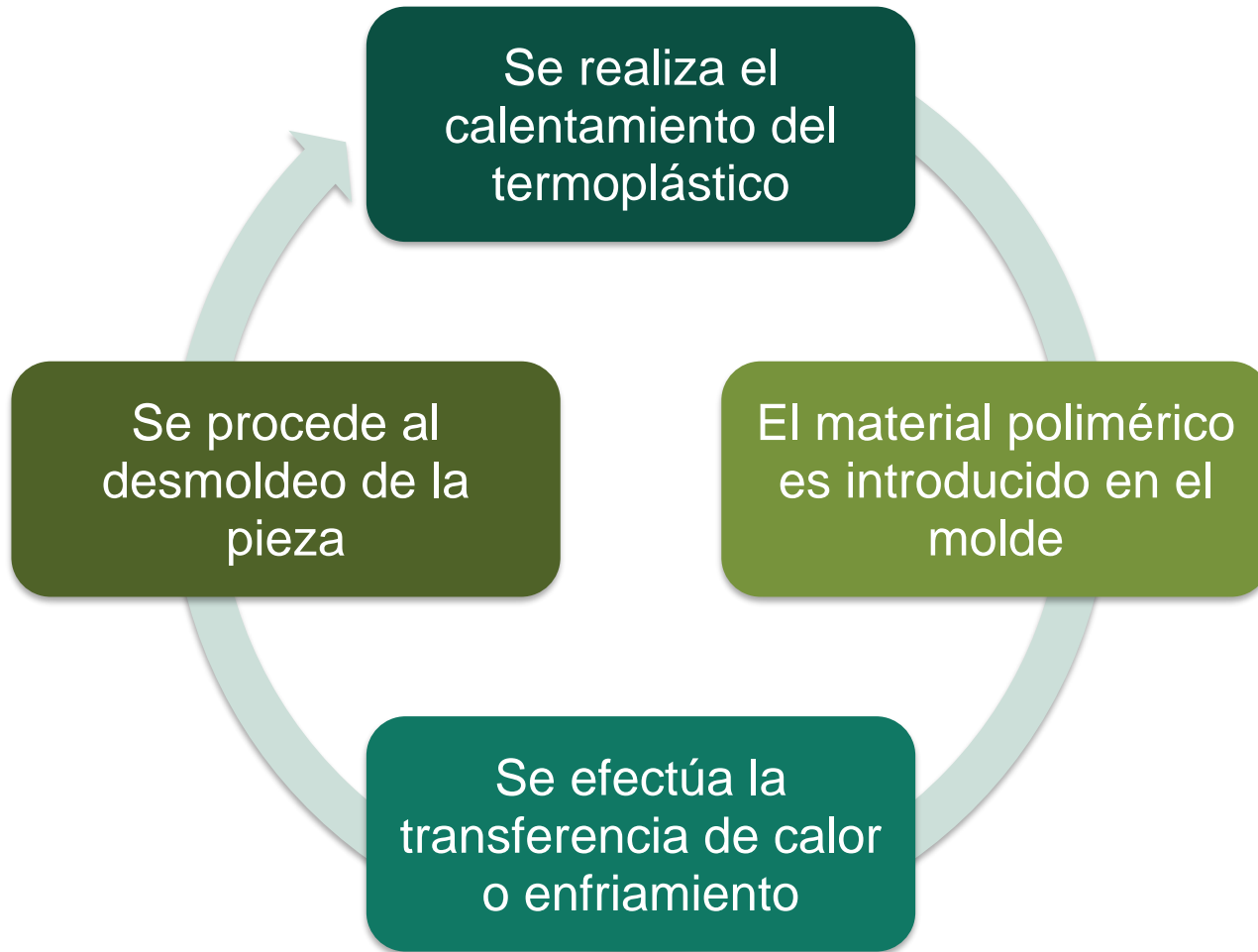
## Objetivos específicos

- Simular el proceso de moldeo de plástico por inyección identificando los parámetros importantes en el mismo.
- Implementar un circuito hidráulico del proceso de moldeo de plástico por inyección.
- Desarrollar un control de temperatura en la etapa de fundición del material polimérico considerando los posibles materiales a utilizar en el proceso.
- Acondicionar sensores externos en el circuito hidráulico del proceso de moldeo de plástico por inyección.
- Diseñar una interfaz gráfica que monitoree en tiempo real el estado del circuito hidráulico implementado.



# 3. Revisión de la literatura

## Ciclo de inyección de plástico



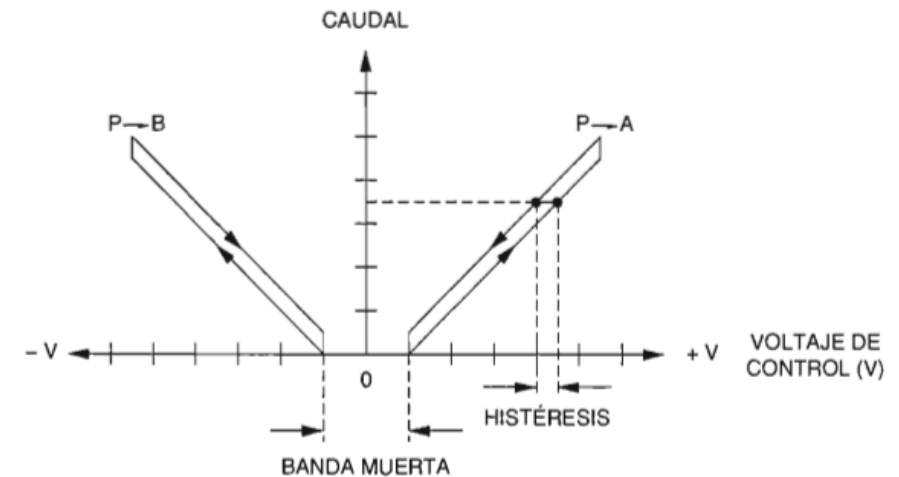
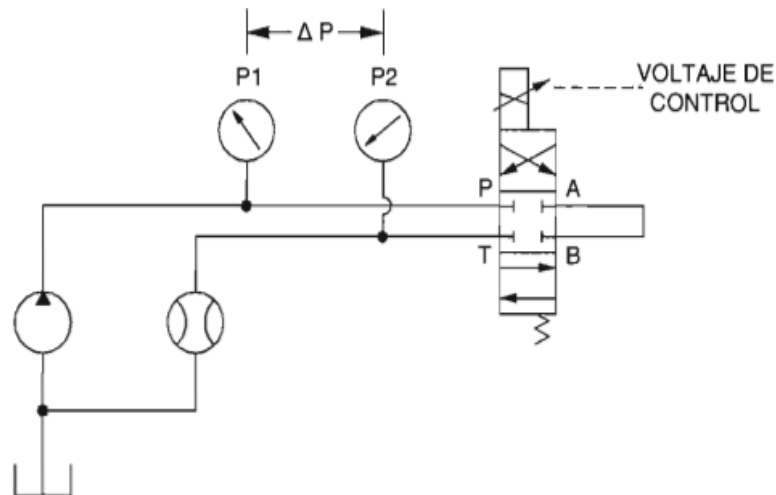
# 3. Revisión de la literatura

## Hidráulica proporcional

Tecnología que logra un control preciso y proporcional de movimientos y fuerzas en sistemas hidráulicos.

Las válvulas proporcionales controlan la velocidad y presión del actuador al regular el flujo de aceite

La curva característica de una válvula proporcional resulta de la variación del caudal respecto del voltaje

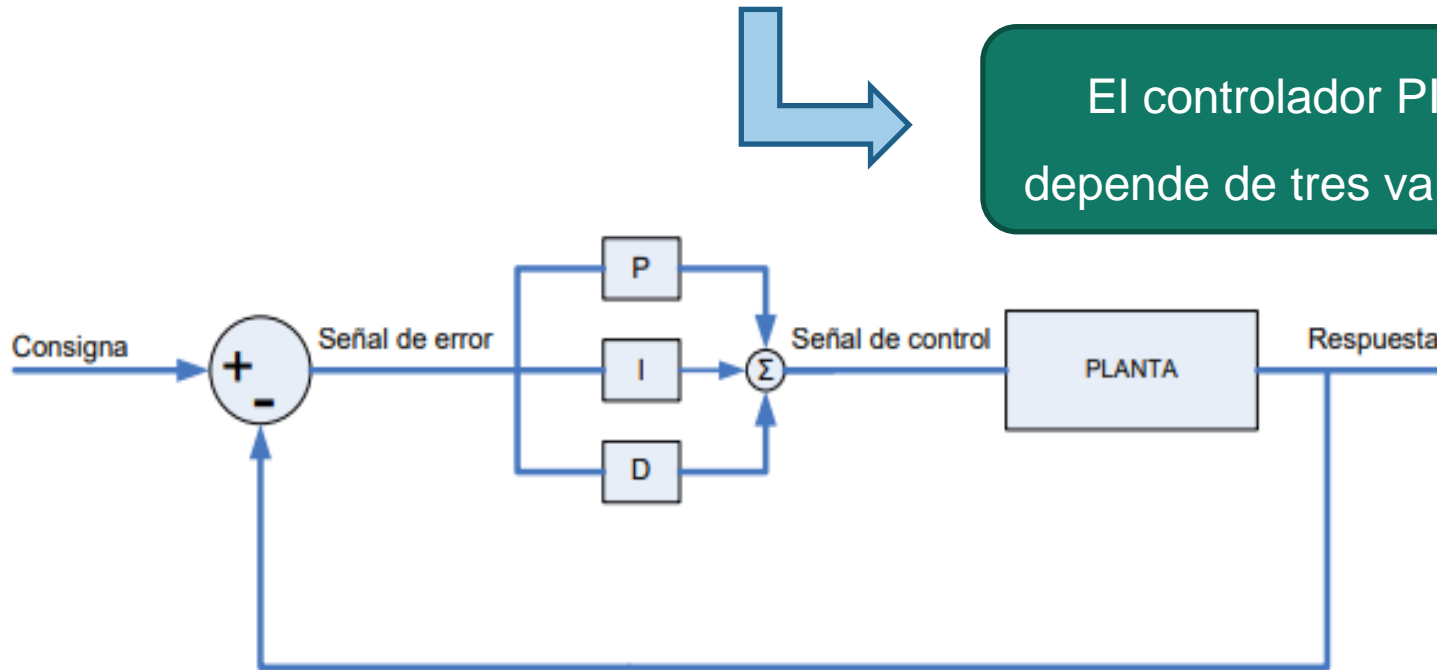


# 3. Revisión de la literatura

## Controlador PID

El controlador emite una señal correctiva al componente de control para mantener las condiciones deseadas, cercanas al punto objetivo

El controlador PID depende de tres valores



- $P(t)$ : Componente Proporcional, ajusta o atenúa el error de regulación, coeficiente  $k$
- $I(t)$ : Componente Integral, acumula el error de regulación, coeficiente  $k_i$ .
- $D(t)$ : Componente Derivativo, evalúa puntualmente el aumento del error de regulación, coeficiente  $k_d$

# 3. Revisión de la literatura

## Internet de las cosas

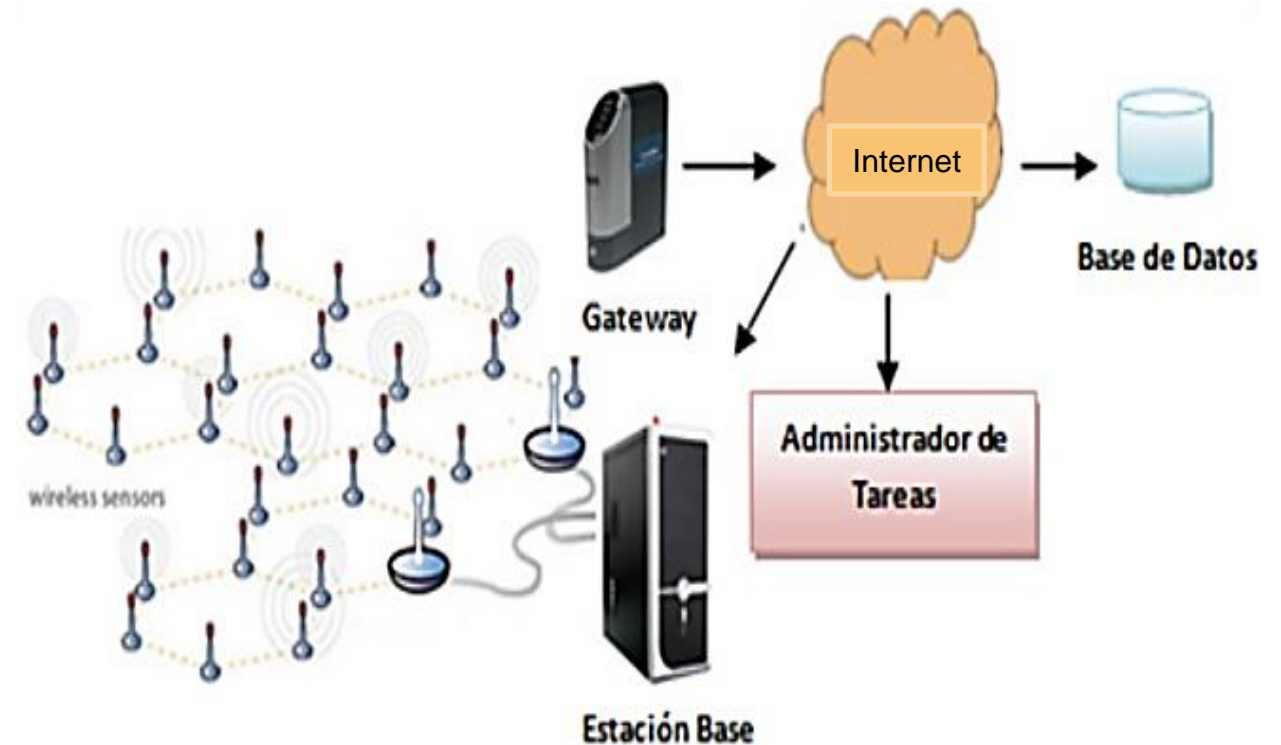
Red de objetos conectados a internet, capaces de recopilar y compartir datos para interacciones y sistemas

Consta de

Componentes de hardware

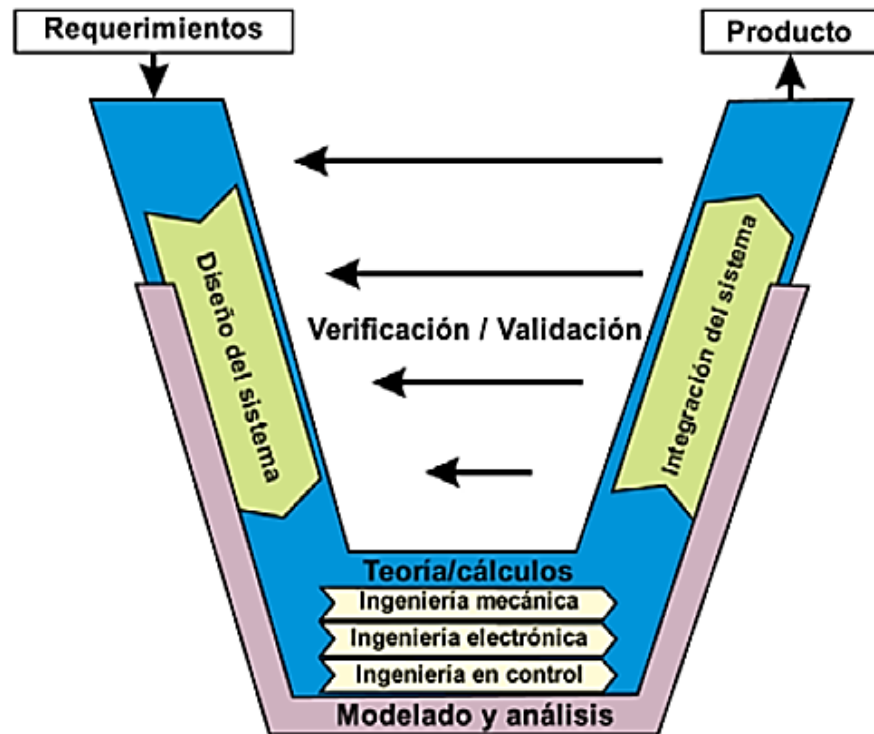
Componente de middleware

Herramientas de visualización





# 4. Metodología y diseño



Metodología VDI 2206 permite la validación y verificación de los requerimientos

## Requerimientos circuito hidráulico

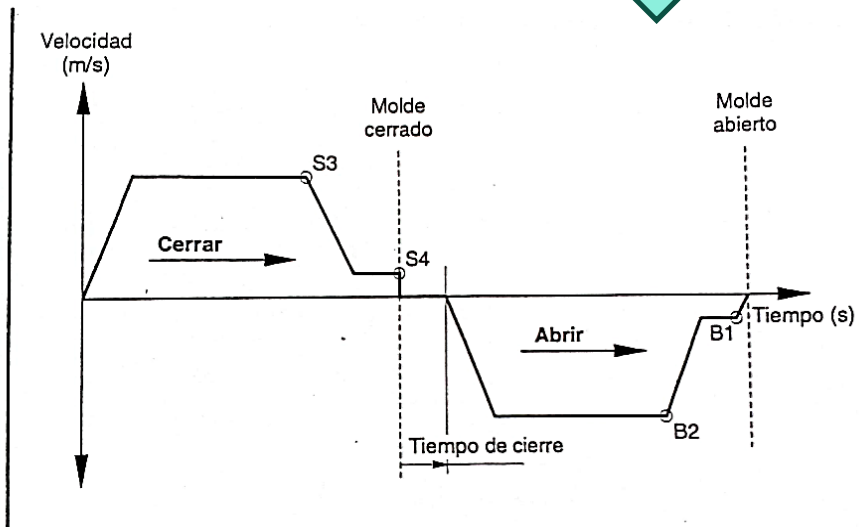
- Control de la velocidad y presión de plastificación e inyección del proceso.
- Control de la secuencia del proceso
  - Temperatura alcanzada.
  - Cierre del molde
  - Granulado de plástico y generación de presión para la inyección.
  - Inyección en el molde ajustando presión.
  - Consolidación de la pieza, y nuevo inicio del proceso abriendo el molde.



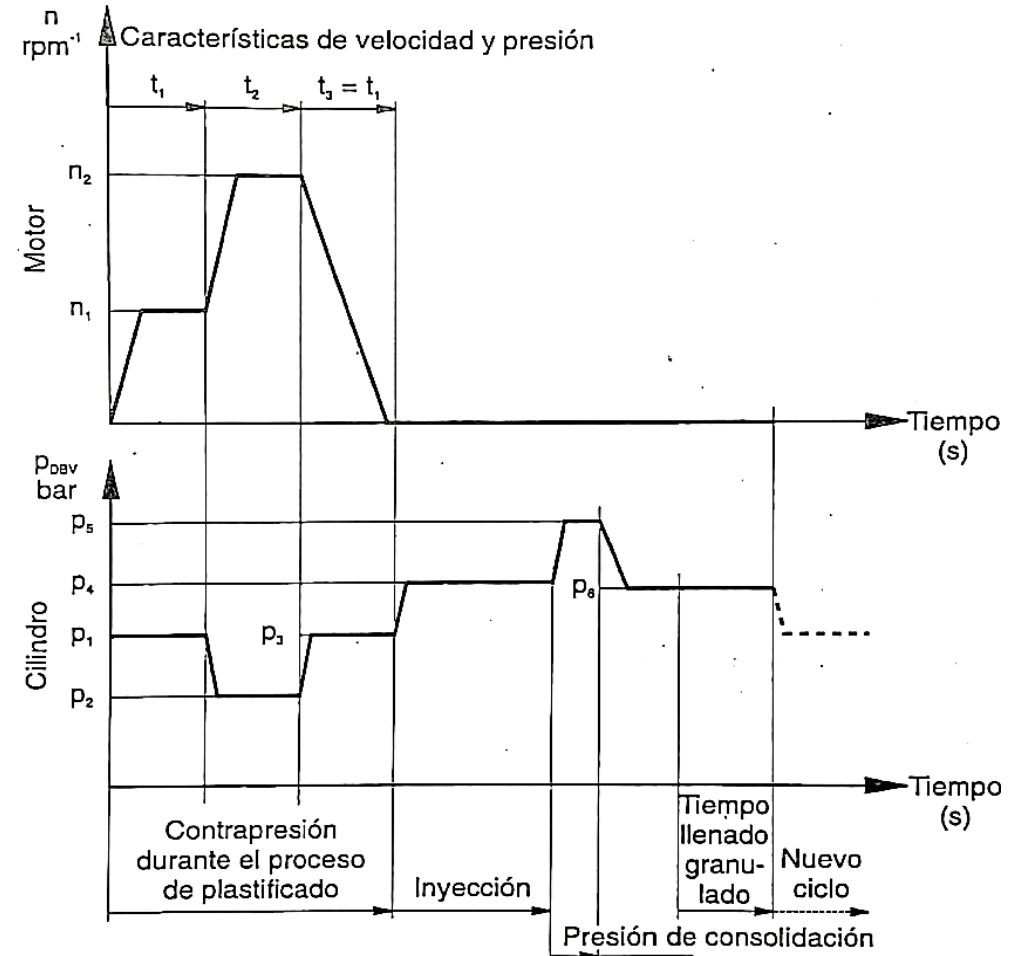
# 4. Metodología y diseño

Señal de control de la etapa de inyección

Señal de control de la etapa de apertura y cierre del molde

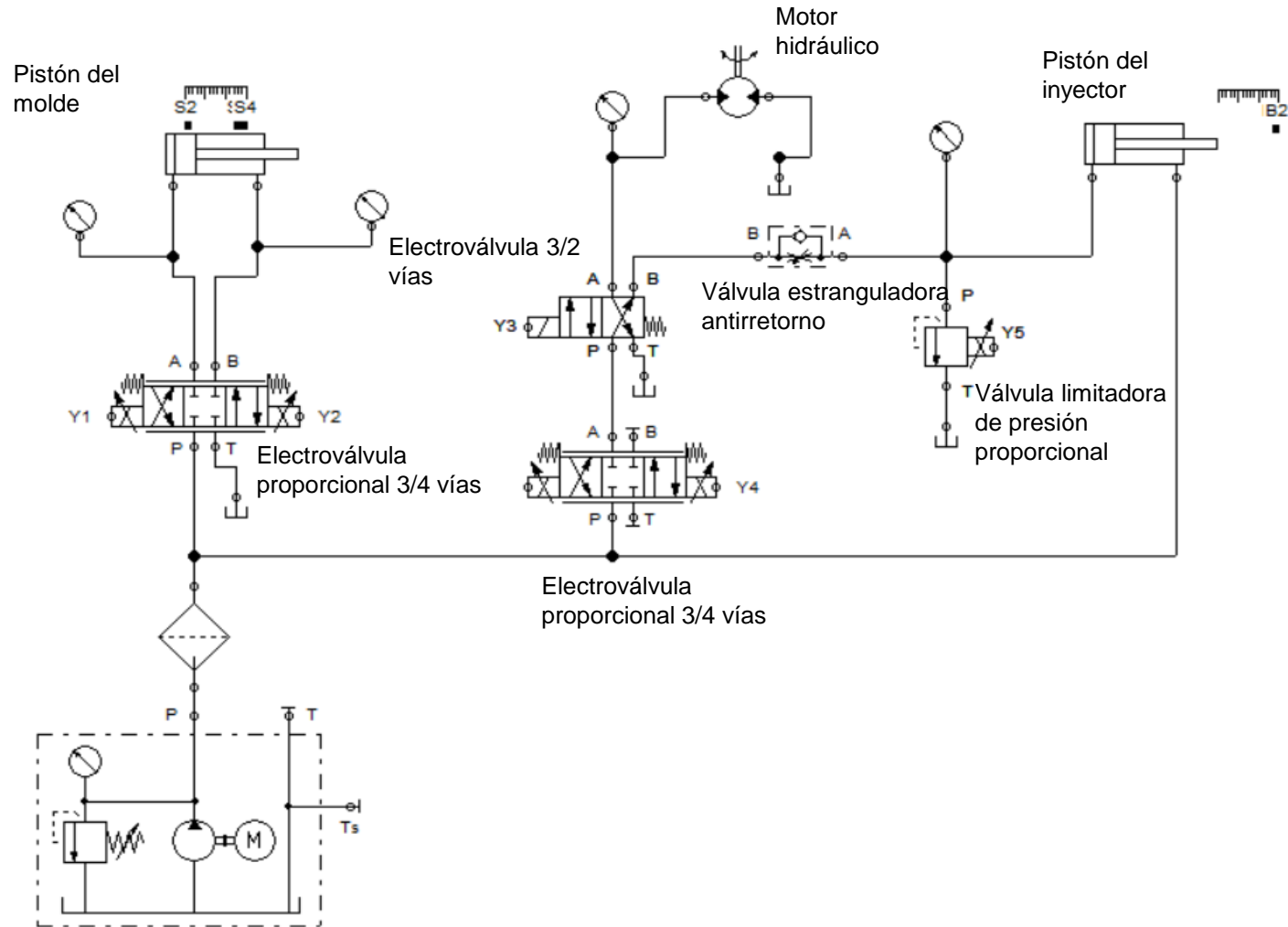


Generador de señal en el diagrama V-t



# 4. Metodología y diseño

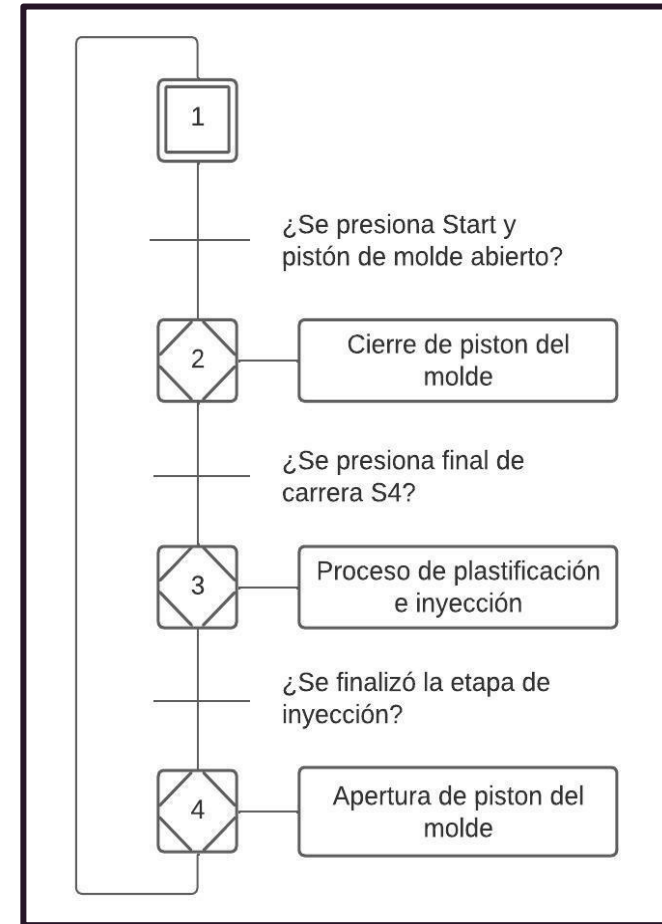
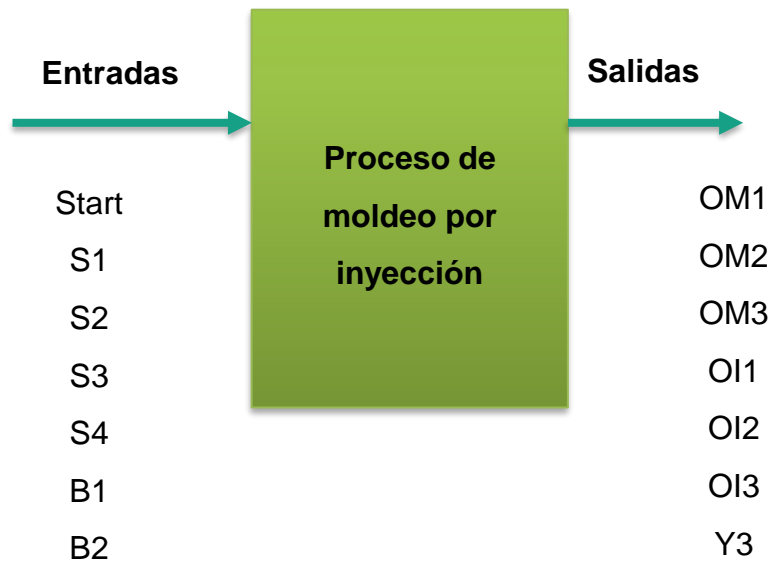
## Diseño de sistema hidráulico



# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

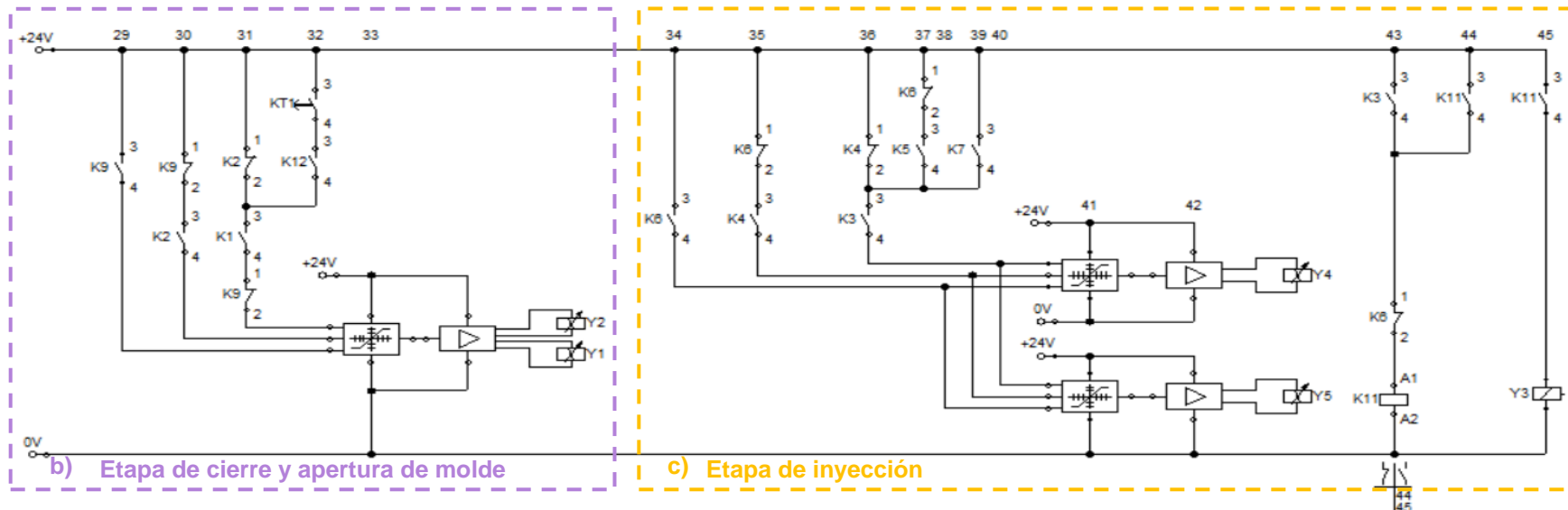
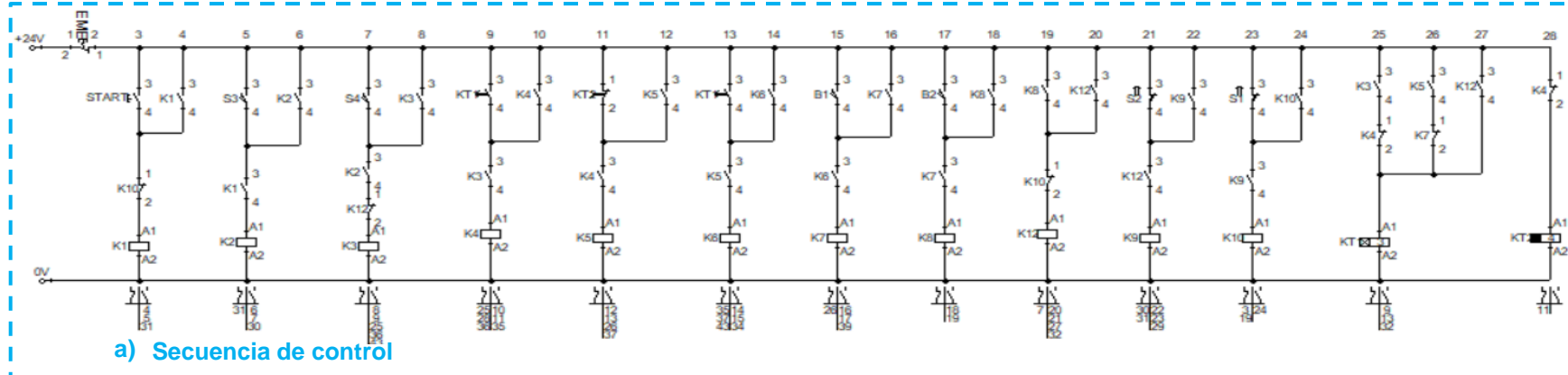
### Generación de secuencia del proceso



# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

### Generación de secuencia del proceso

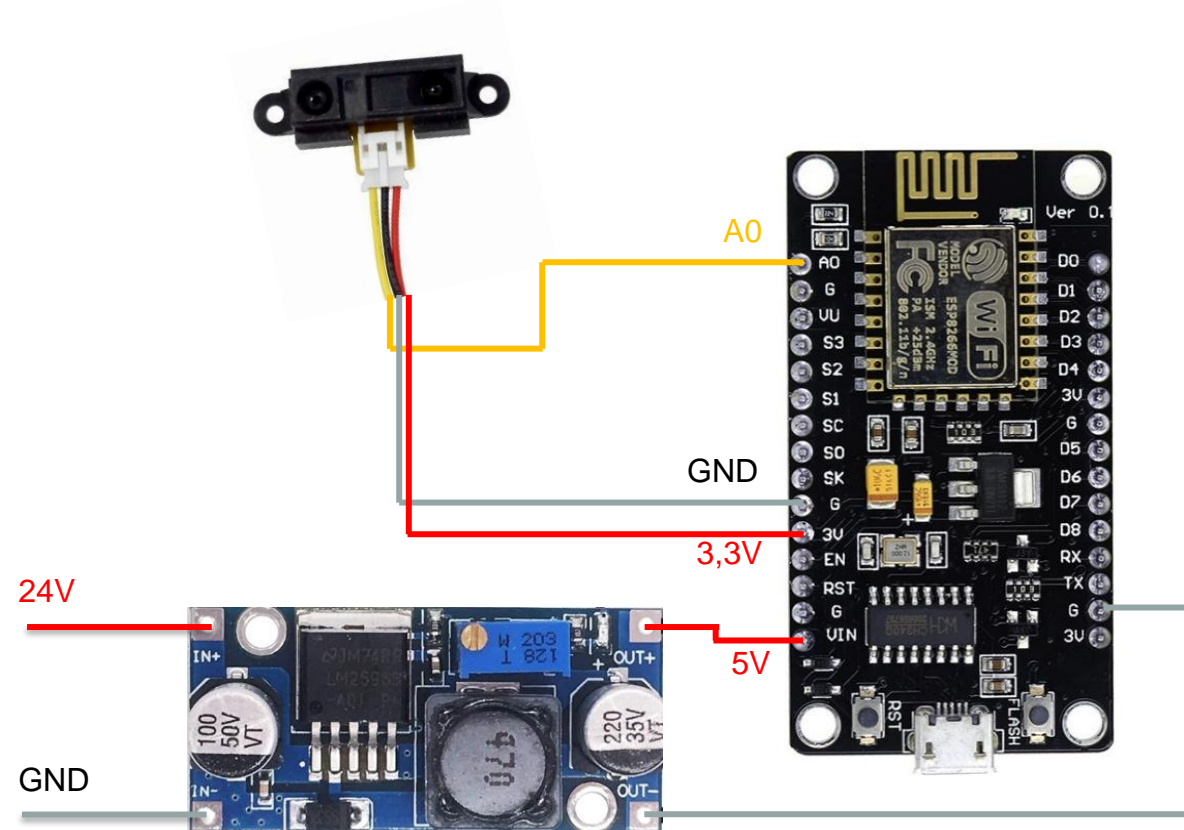


# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

### Monitoreo de variables

Medición de posición para molde e inyector

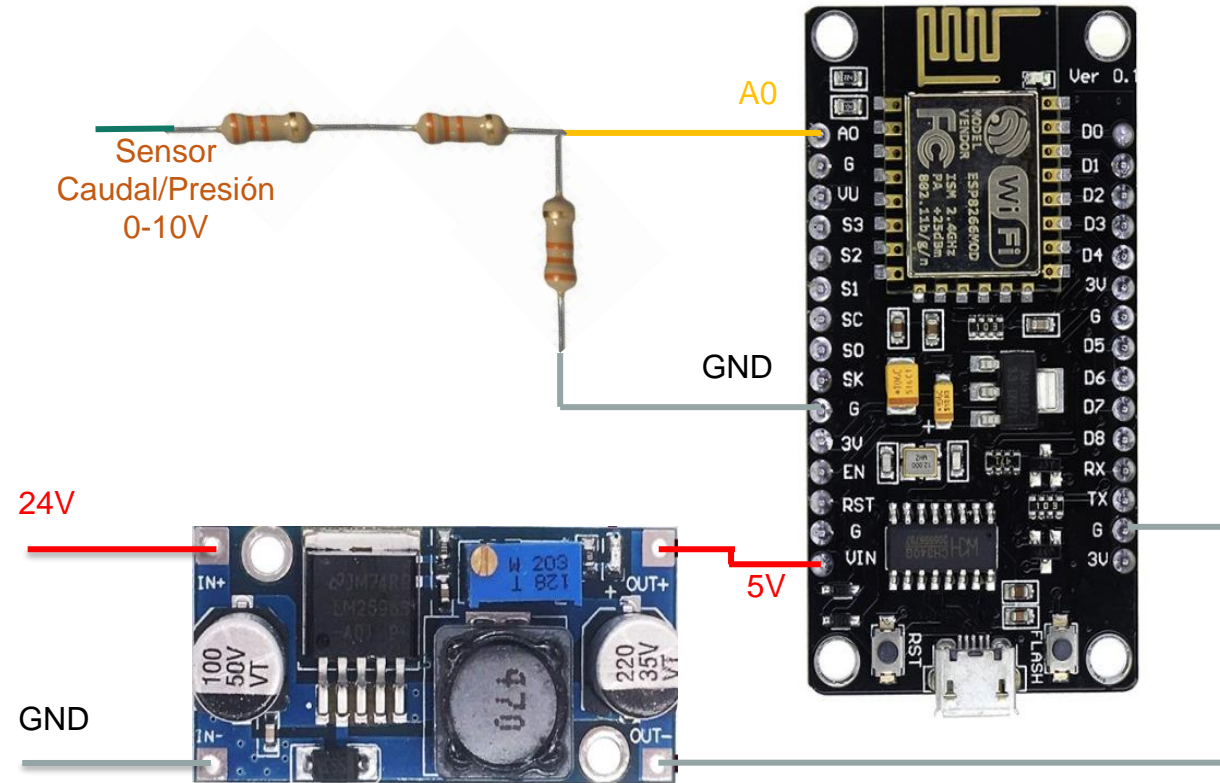


# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

### Monitoreo de variables

### Medición de caudal y presión

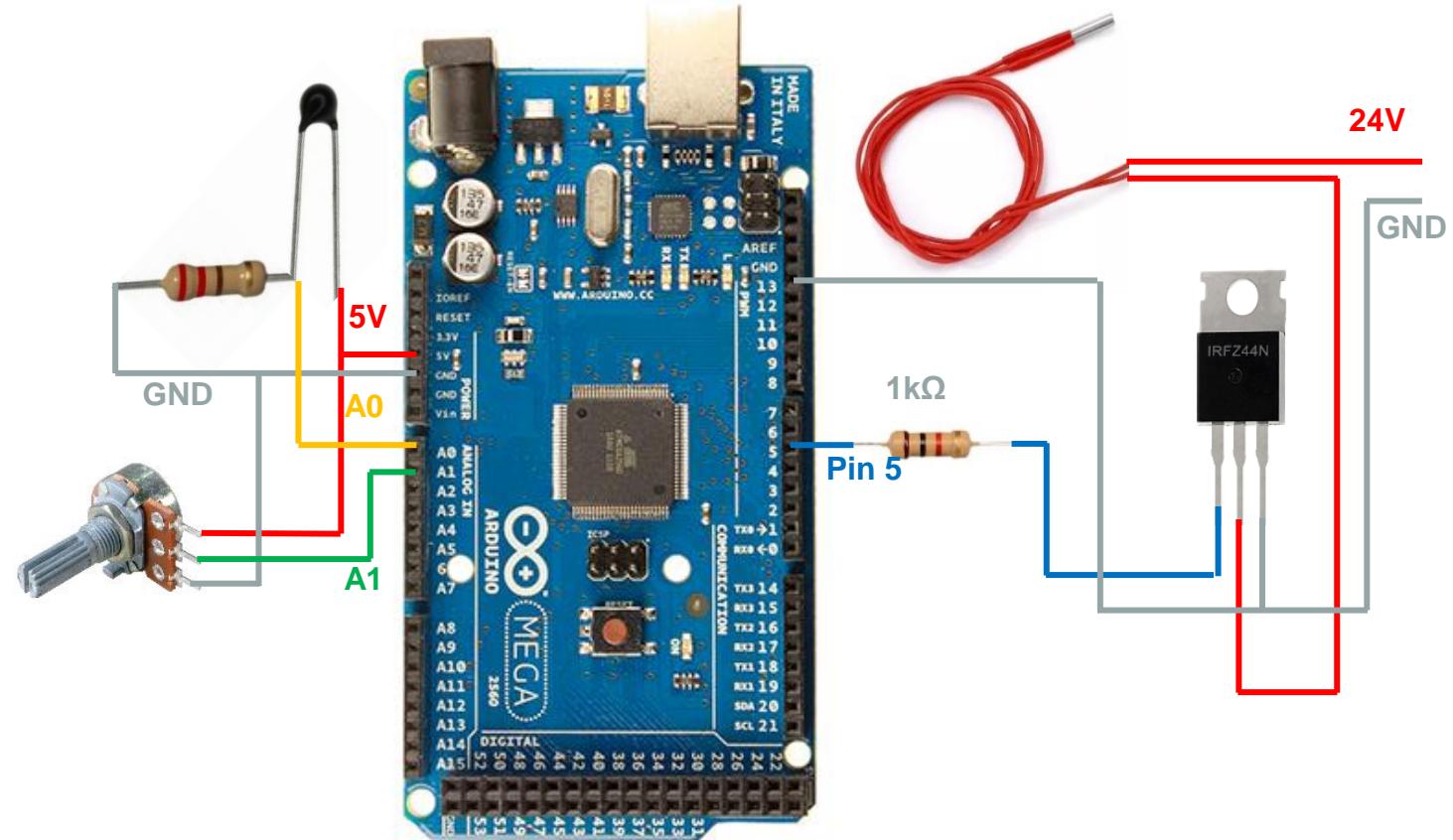


# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

### Monitoreo de variables

Medición y control de temperatura



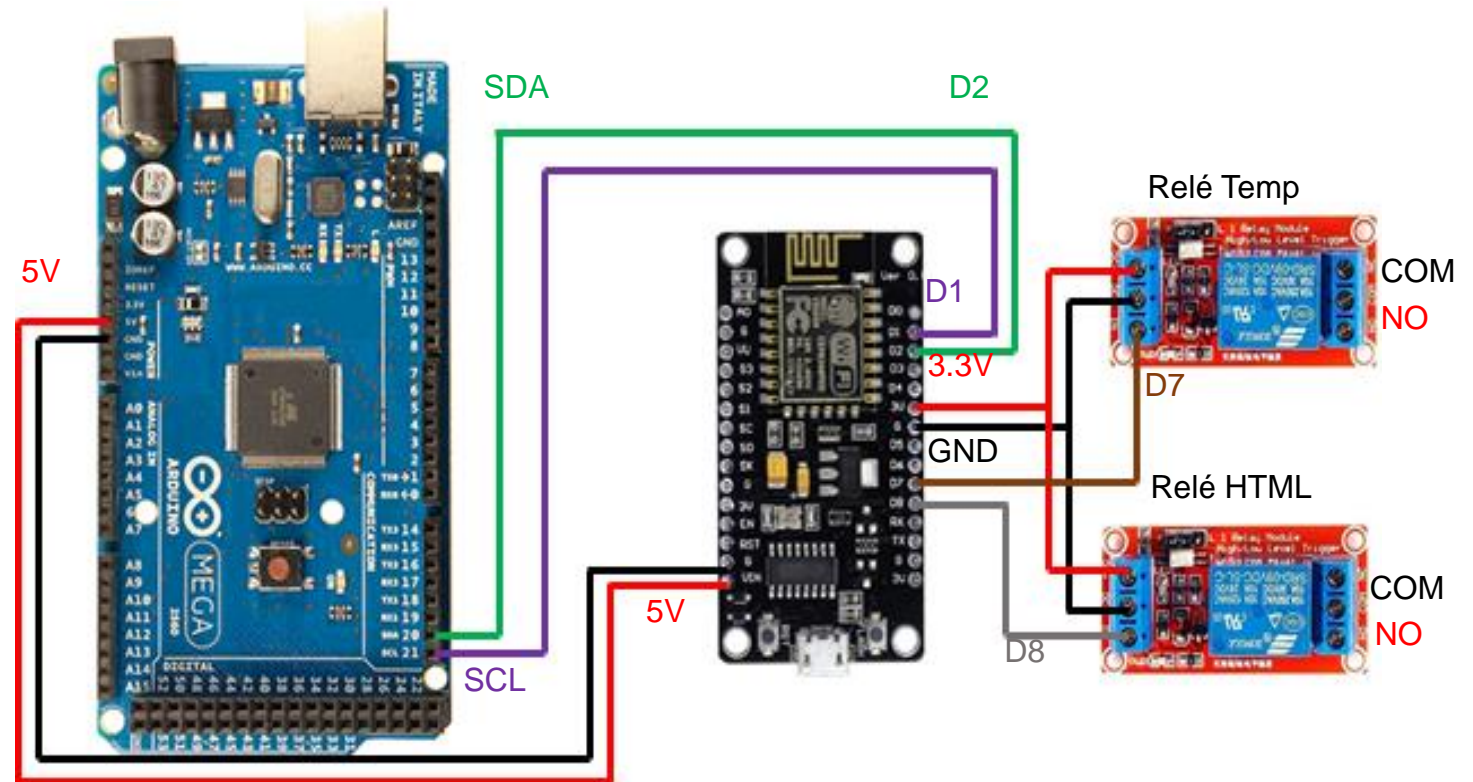


# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

### Monitoreo de variables

Control de HMI remota, en línea

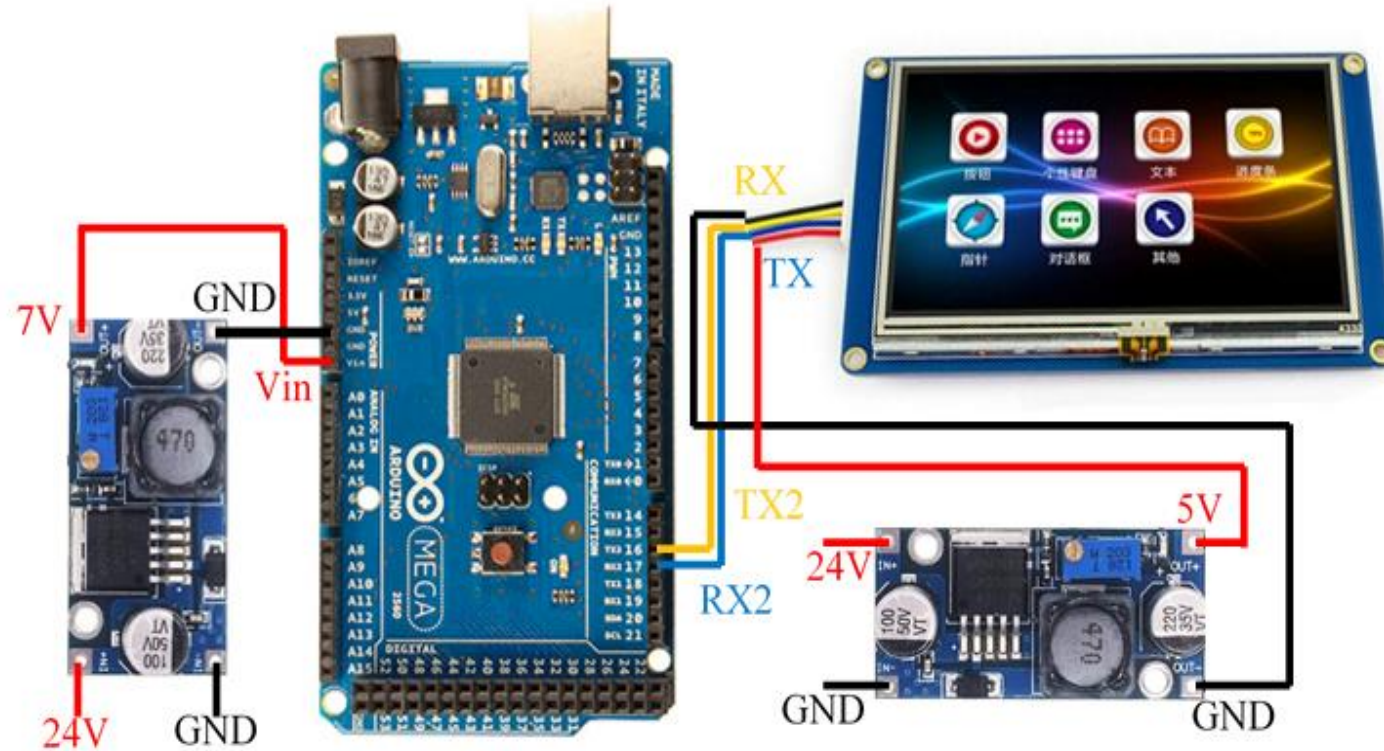


# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema eléctrico

### Monitoreo de variables

Control de HMI local



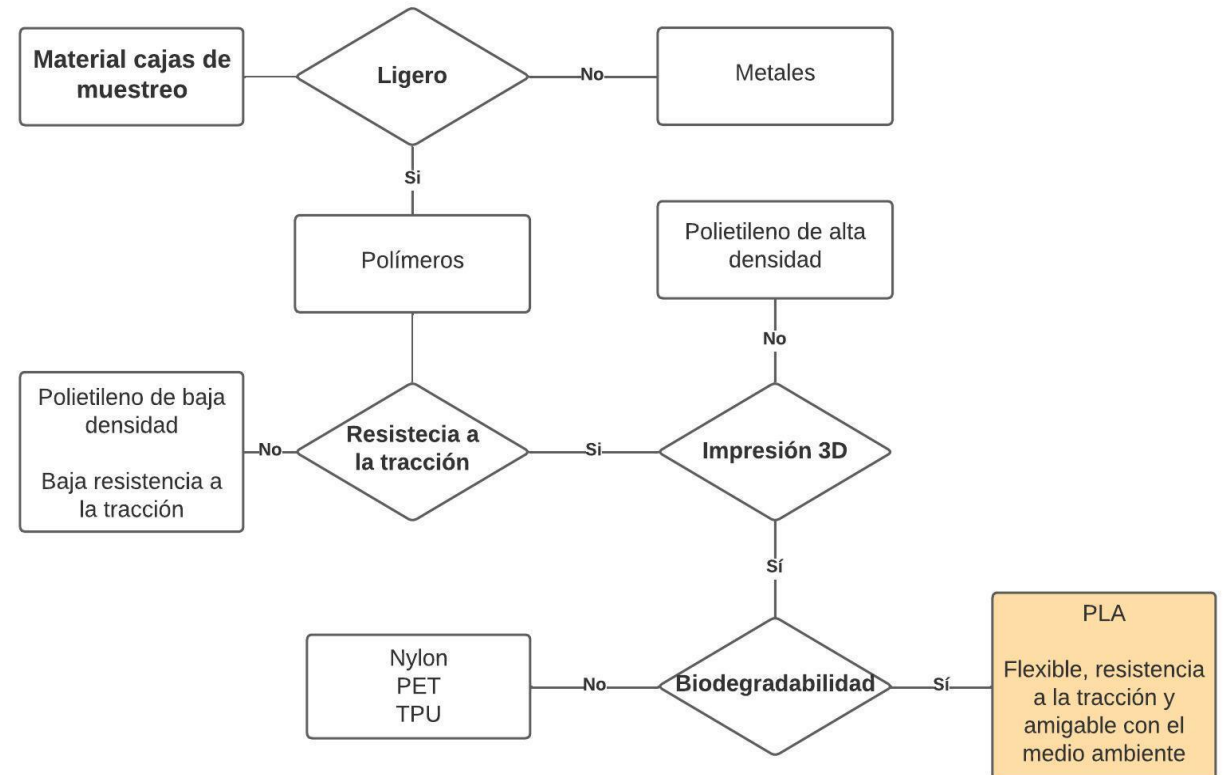
# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema mecánico

### Requerimientos

- Estructura adaptable a espacio de trabajo
- Material resistente para la aplicación
- Estructura adaptable para la toma de datos de distancia de los pistones, velocidad angular, presión hidráulica o temperatura presentes en el proceso
- Estructuras para finales de carrera y pistones

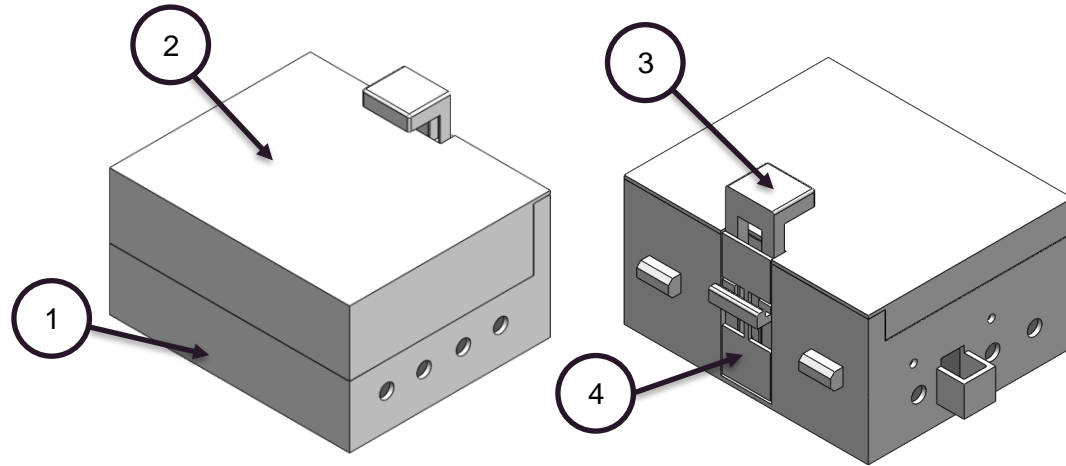
### Selección de material



# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema mecánico

### Estructura adaptable para las variables



1) Base de caja de muestreo

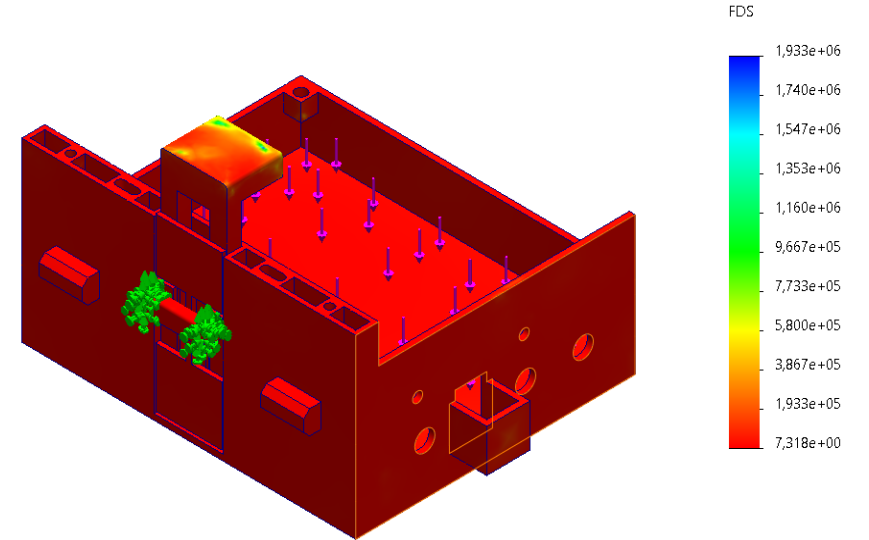
2) Tapa de caja de muestreo

Caja de muestreo

3) Sistema de fijación por resorte

4) Tapa de fijación

### Factor de seguridad para caja de muestreo



El factor seguridad de 7.318

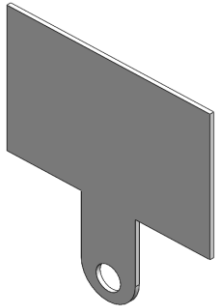


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

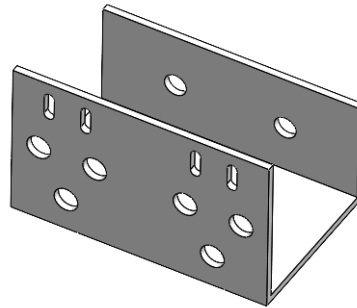
# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema mecánico

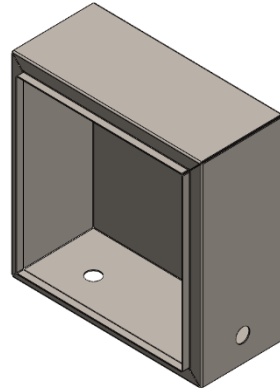
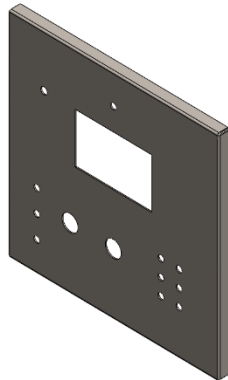
Acople para pistones



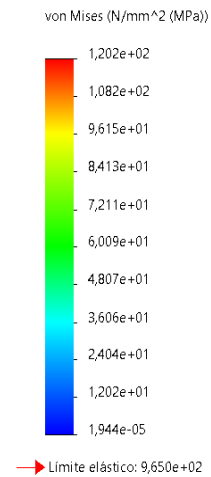
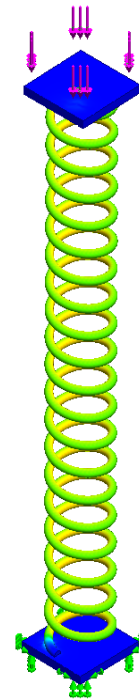
Soporte para finales de carrera



Modificaciones para caja de control



Diseño de resorte



Acero inoxidable  
ASTM A313

$$L = 36\text{mm}$$

$$p = 1.939\text{ mm}$$

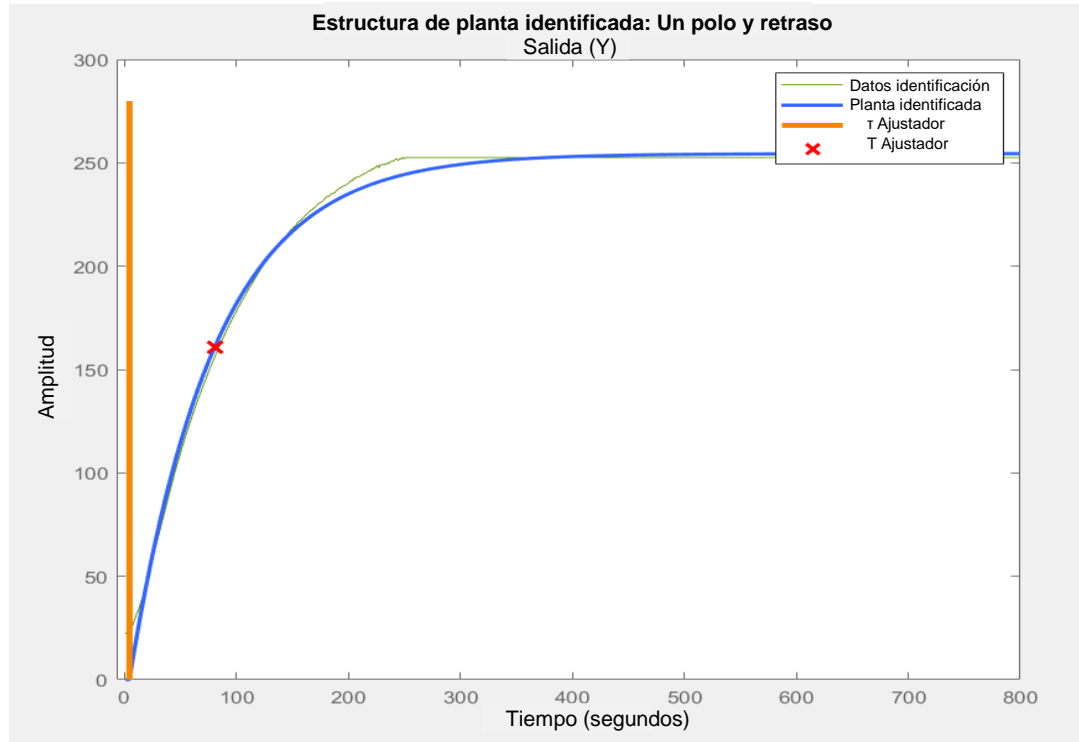
$$N_t = 24$$



# 4. Metodología y diseño

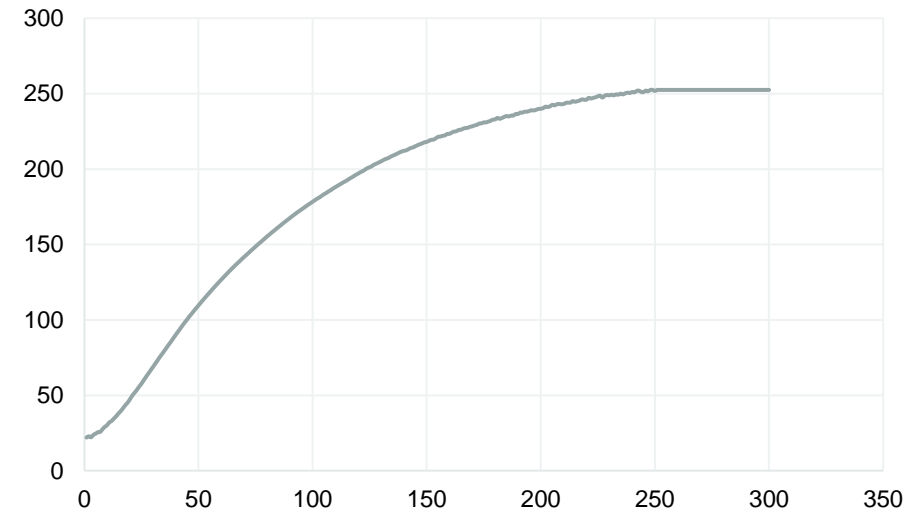
## Diseño de sistema de control de temperatura

### Identificación de la planta



$$G(s) = \frac{254.46}{1 + 76.131s} e^{-3.425s}$$

### Gráfica experimental de temperatura de niquelina



$$G(s) = \frac{252.57}{1 + 82s} e^{-5s}$$



# 4. Metodología y diseño

## Diseño de sistema de control de temperatura

### Diseño de controlador por lugar de las raíces

$$t_{ss} = 30s$$

$$\text{Raíz deseada: } \varphi_r = -0.0333$$

$$\text{Ángulo de aporte: } \phi = -360^\circ$$

$$\text{Compensación de controlador: } \Gamma = -0.0333$$

### Constantes del controlador

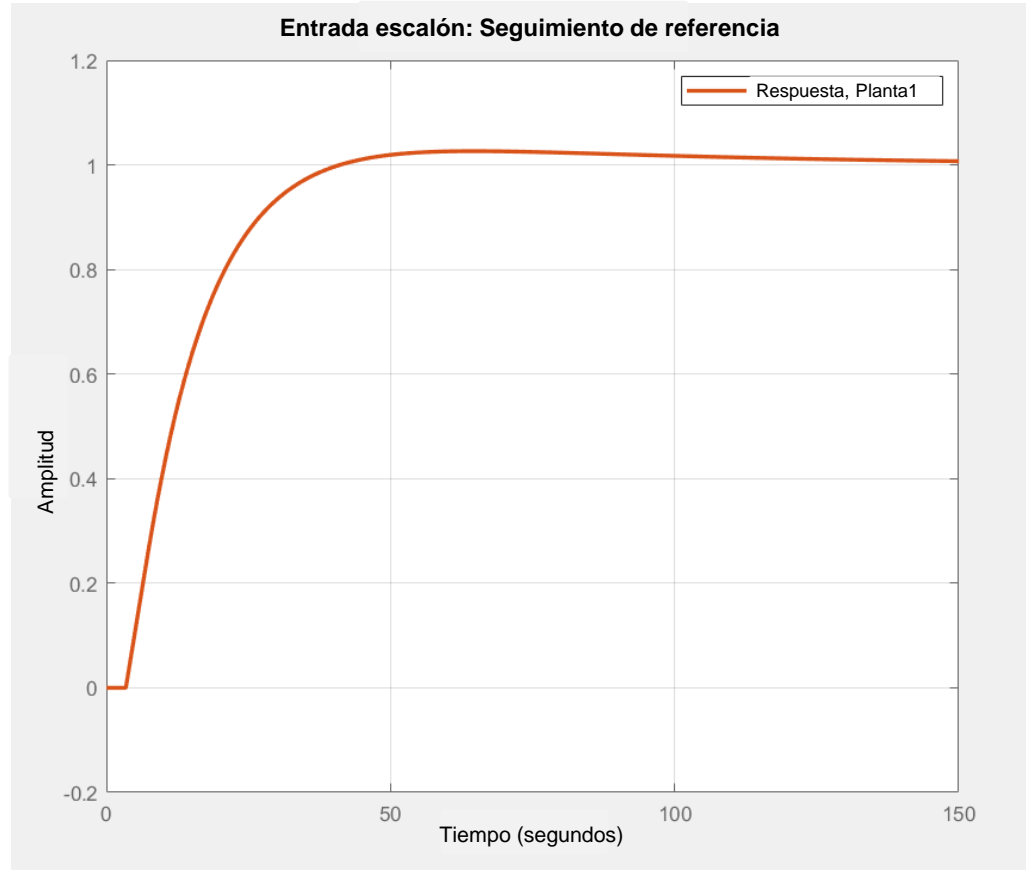
$$k_p = 0.0197$$

$$k_i = 0.0003339$$

$$5s < T_s < 15.2s$$

$$T_s = 8s$$

$$u(k) = u(k-1) + 0.02103e(k) - 0.011836e(k-1)$$



# 4. Metodología y diseño

## Diseño de la interfaz gráfica

### Diseño de interfaz estática o local

**Título P1** Proceso de moldeo por inyección  
Nombre: Bernardo Pachacama

**Variables variables**

- Temp: Temperatura
- Vel: Velocidad
- PosM: Posición de molde
- Pres: Presión
- EstG: Estado General
- PosI: Posición de inyector

a)

**Temperatura**

grafTemp

t1 Set Point  
setpoint  
t3 [180-250]°C  
t2 temperatura  
temp un1

b)

**Posición del molde**

grafPosM

t1 Posición de molde  
posmol un1

e)

**Posición del inyector**

grafPosI

t1 Posición de inyector  
posin un1

f)

**Presión**

grafPres

t1 Presión  
pres un1

c)

**Velocidad**

grafVel

t1 Velocidad  
vel un1

d)

**Estado General**

p0 DPosM  
p1 DPosI  
p2

g)



# 4. Metodología y diseño

## Diseño de la interfaz gráfica

### Diseño de interfaz remota o en línea

Sección inicial de visualización de variables

Pantalla de acceso

PROCESO DE MOLDEO POR INYECCION DE PLÁSTICO 

Email

Enter Username

Password

Enter Password

Login

PROCESO DE MOLDEO POR INYECCION DE PLÁSTICO 

Usuario Logged  
moldeo.por.inyeccion99@gmail.com  
([logout](#))

a) START  


b) TEMPERATURA REAL  
111.88 °C

c) TEMPERATURA SET  
154.00 °C

d) POSICIÓN DEL MOLDE  
9.80 cm

e) POSICIÓN DEL INYECTOR  
35.06 cm

f) VELOCIDAD DEL MOTOR  
0.00 RPM

g) PRESIÓN DEL PROCESO  
6.70 bar



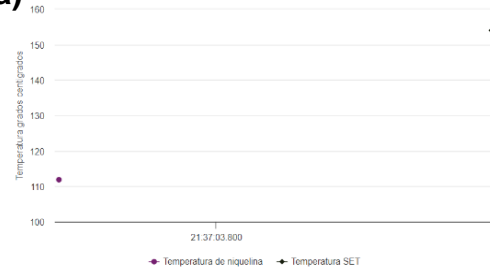
# 4. Metodología y diseño

## Diseño de la interfaz gráfica

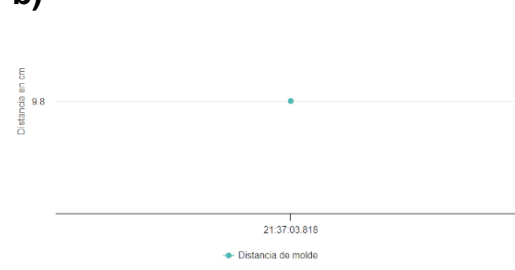
### Diseño de interfaz remota o en línea

GRAFICAS

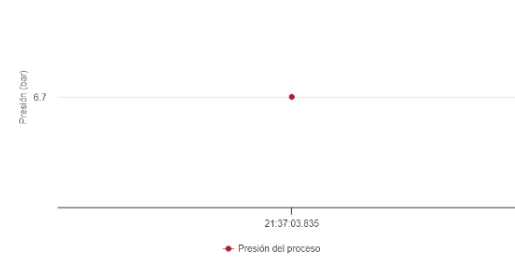
a) GRÁFICA DE TEMPERATURA



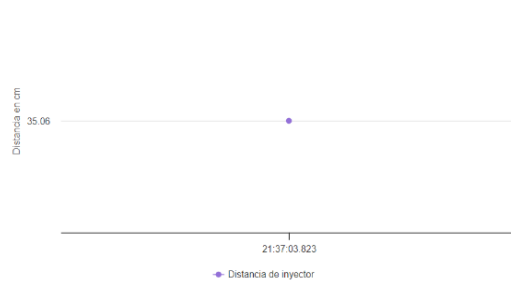
b) GRÁFICA DE MOVIMIENTO DEL MOLDE



e) GRÁFICA DE PRESIÓN DEL PROCESO



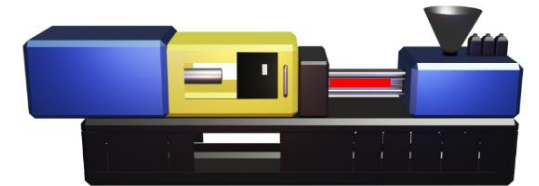
c) GRÁFICA DE MOVIMIENTO DEL INYECTOR



d) GRÁFICA DE VELOCIDAD DEL MOTOR

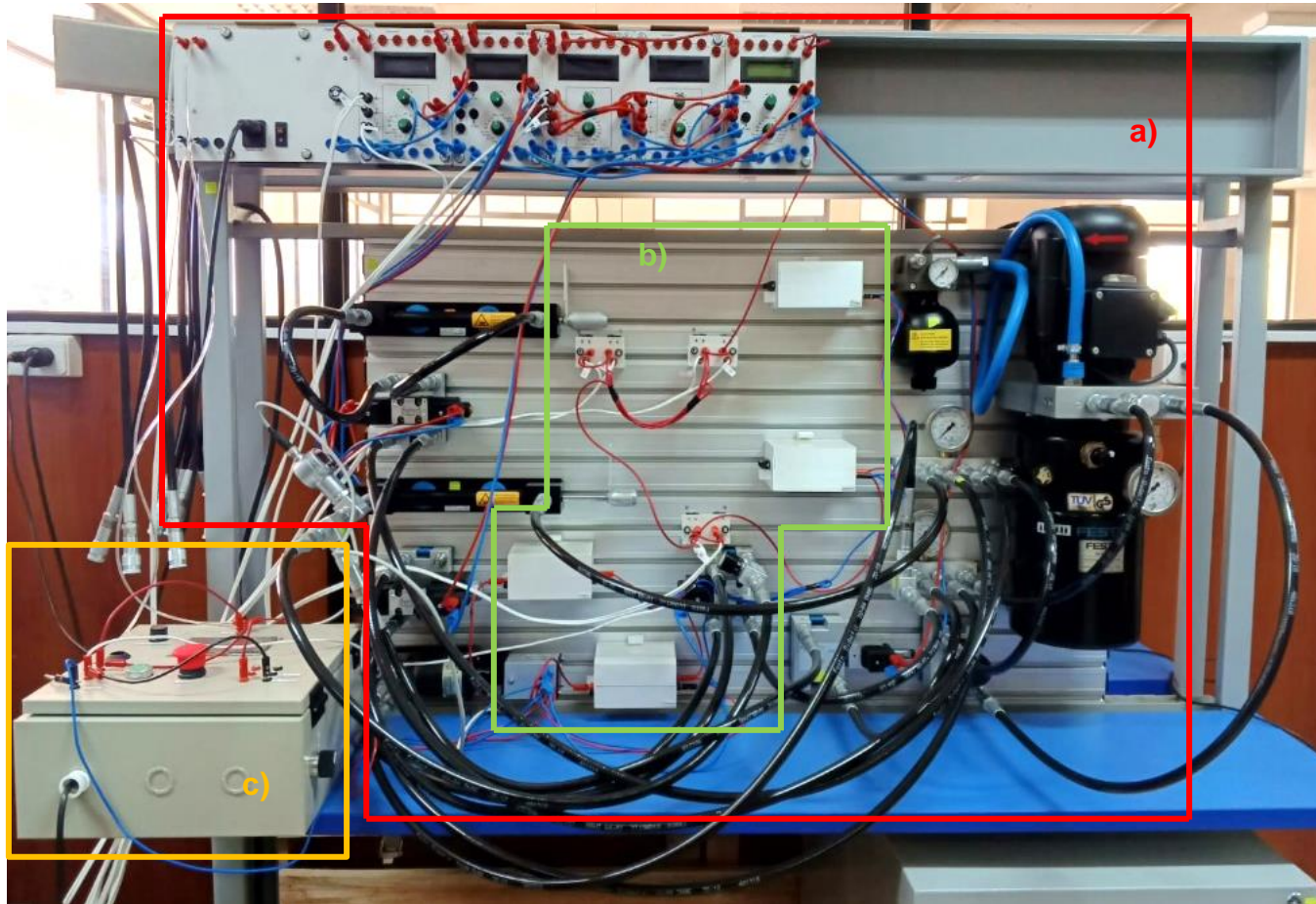


f) PROCESO DE INYECCIÓN



# 4. Metodología y diseño

## Integración e implementación



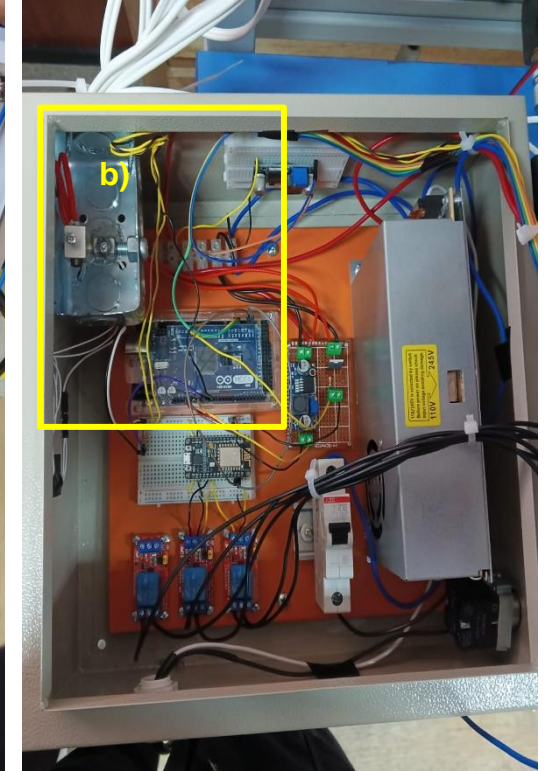
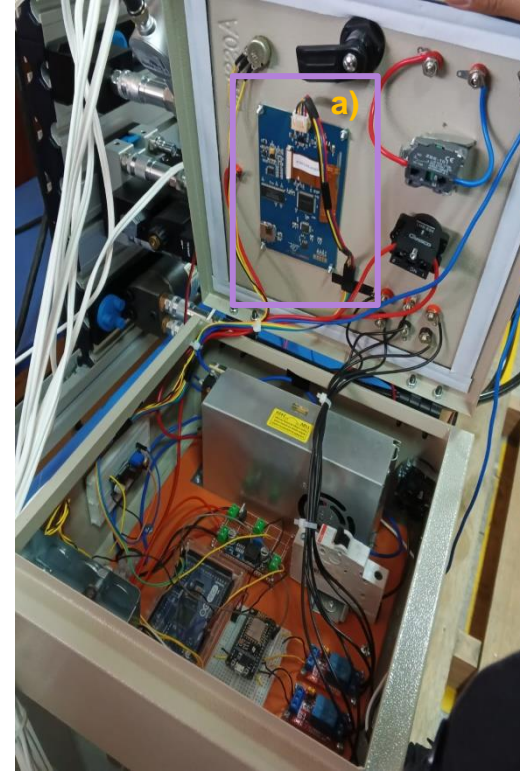
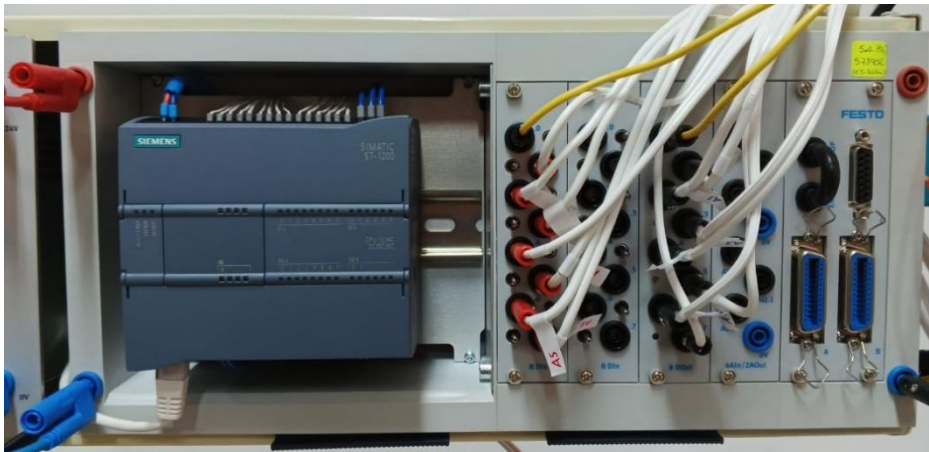
- a) Corresponde al circuito hidráulico.
- b) Conjunto entre el diseño mecánico de las cajas de muestreo y los sensores.
- c) Compone una parte del circuito eléctrico correspondiente a la caja de control en conjunto del sistema de control de temperatura y la interfaz gráfica estática.



# 4. Metodología y diseño

## Integración e implementación

Conexiones al PLC



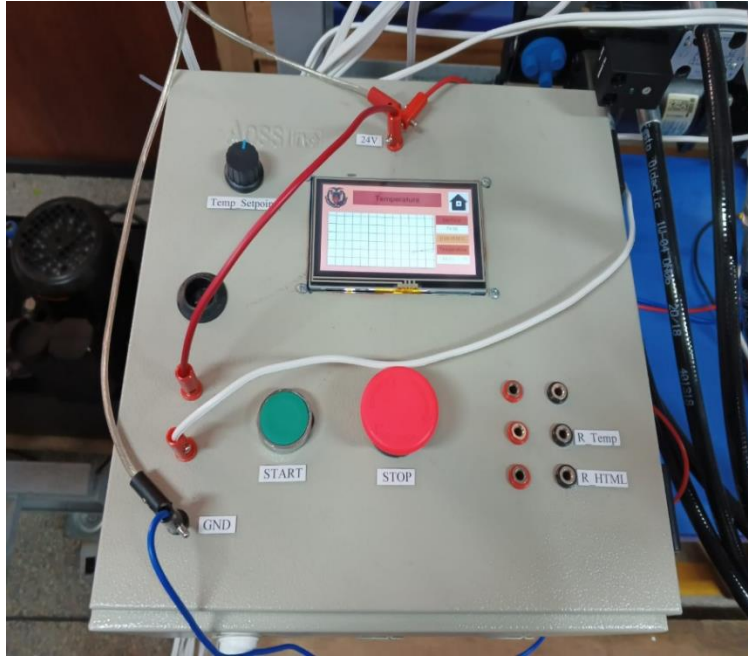
a) Interfaz gráfica estática  
b) Control de temperatura



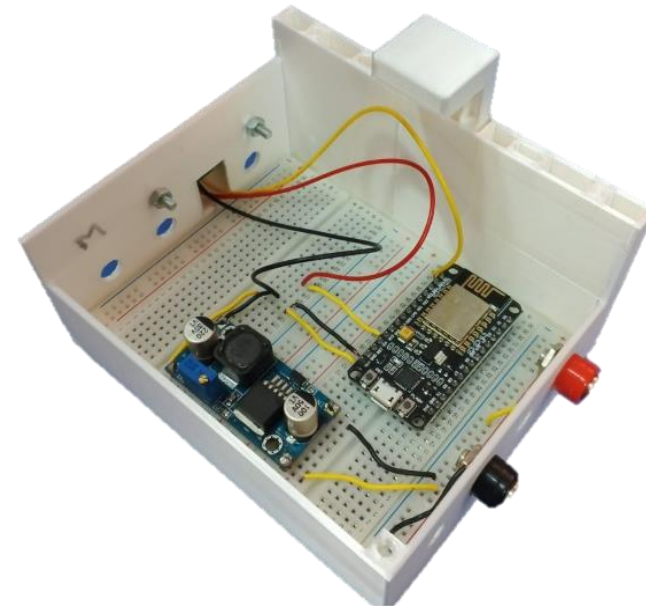
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# 4. Metodología y diseño

## Integración e implementación



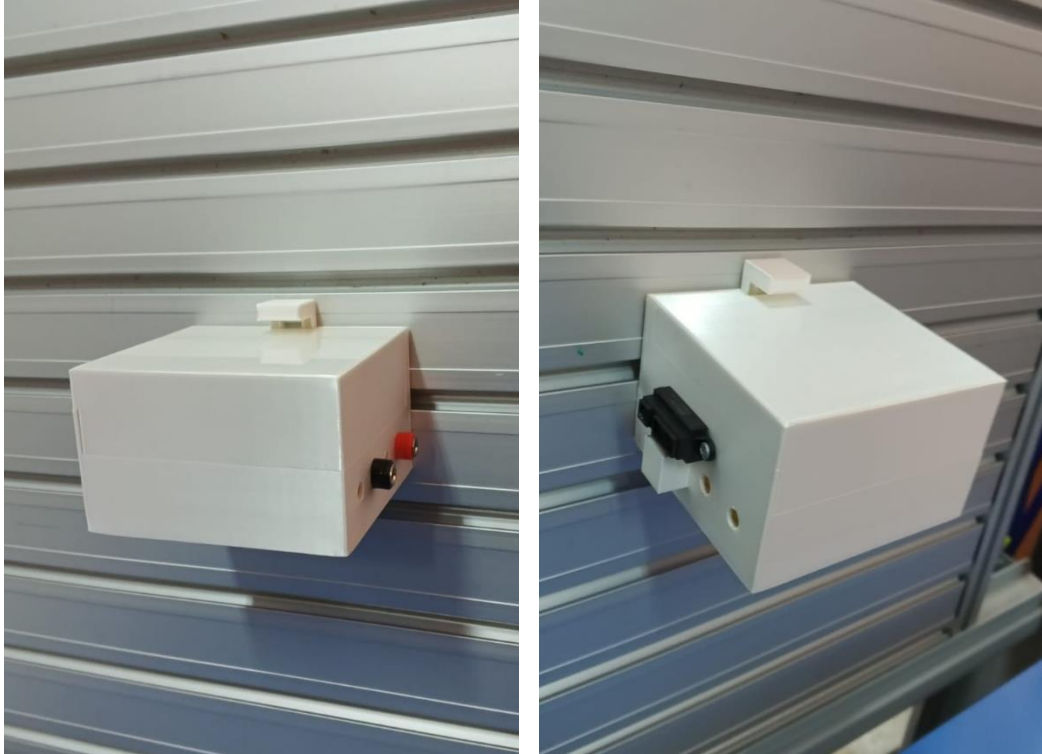
Caja de control e interfaz gráfica



Caja de muestreo con circuito ejemplo integrado

# 4. Metodología y diseño

## Integración e implementación



Caja de control colocada en el espacio de trabajo



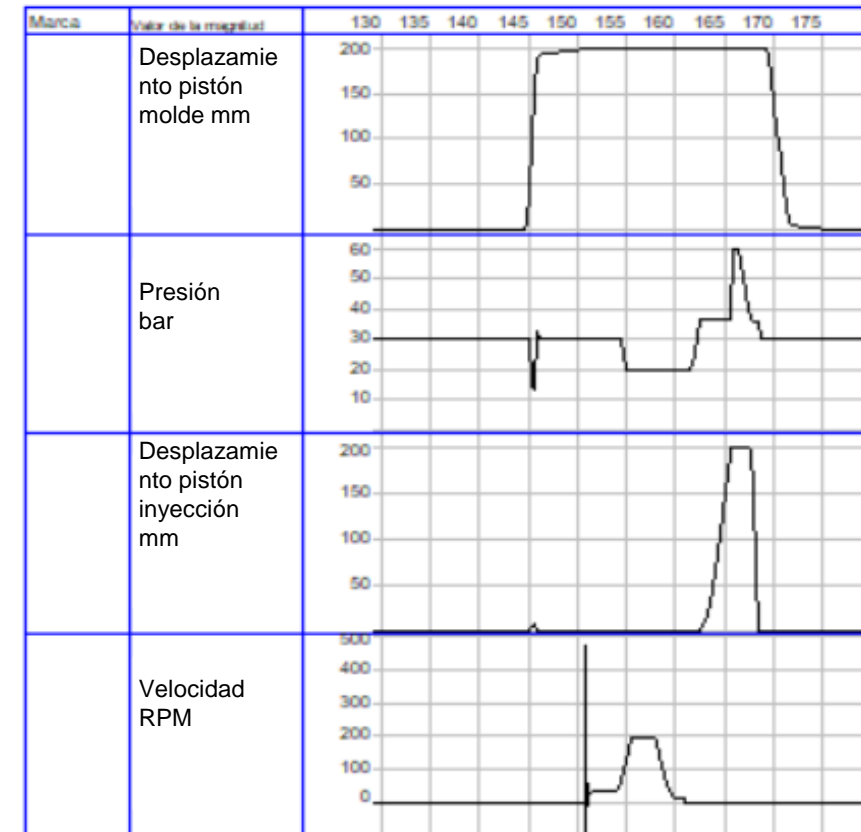
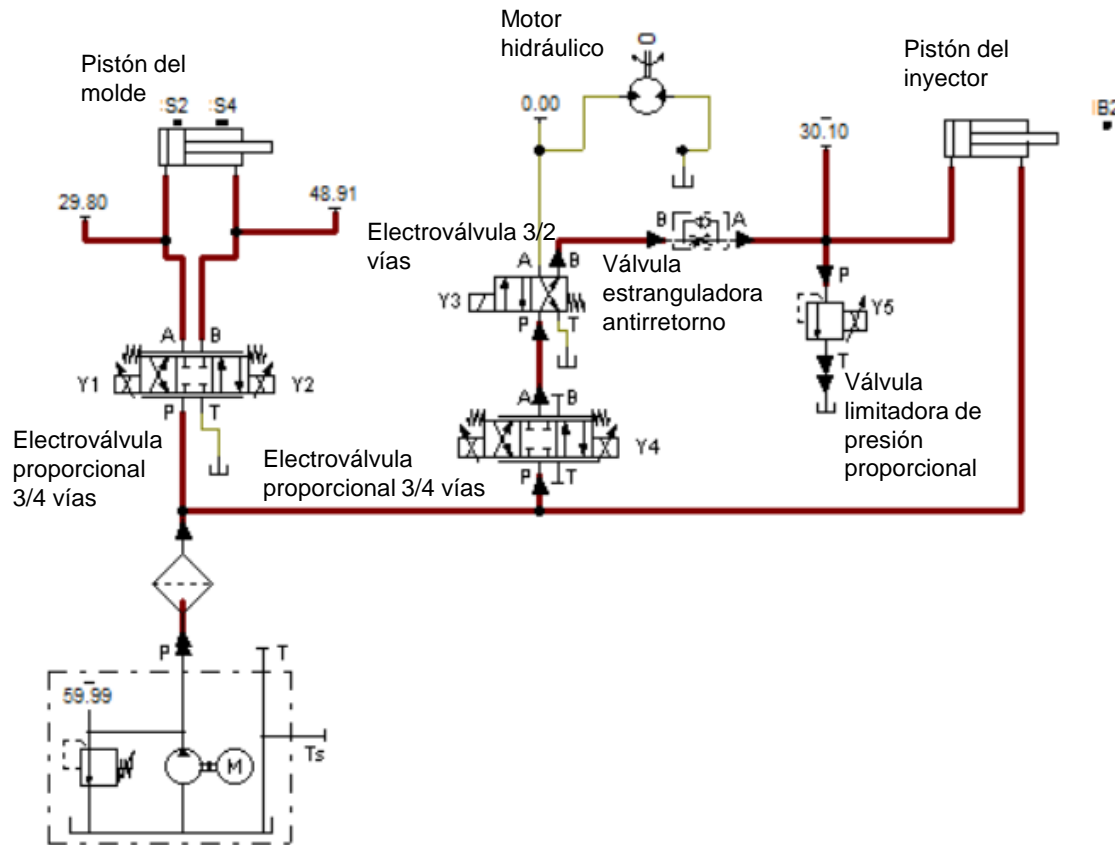
Acople para medir distancia y soporte de finales de carrera montados



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

# 5. Pruebas y resultados

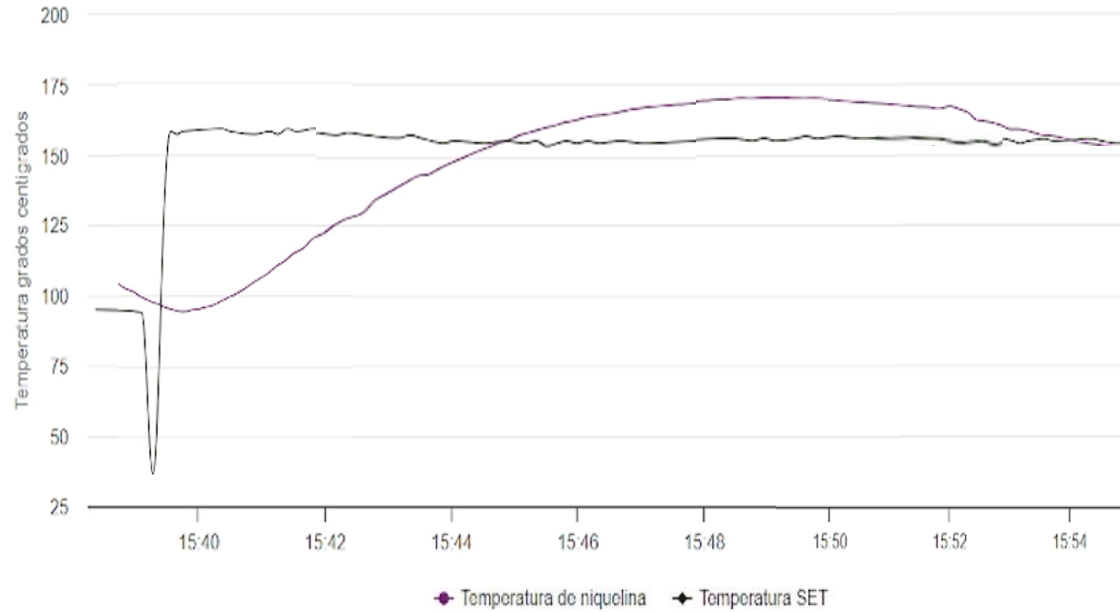
## Resultados de la simulación del circuito hidráulico



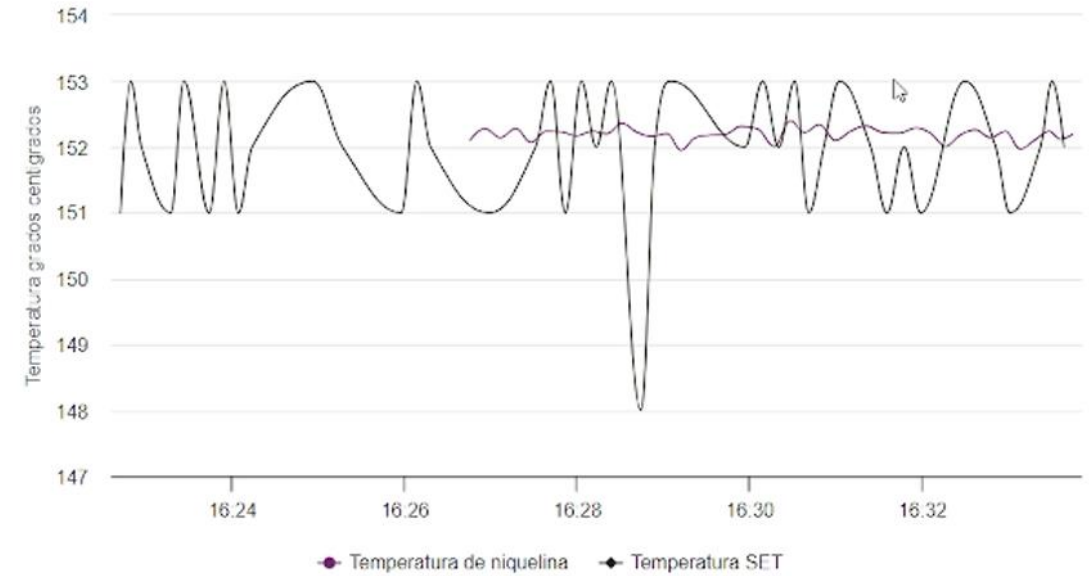
# 5. Pruebas y resultados

## Control de temperatura

GRÁFICA DE TEMPERATURA



GRÁFICA DE TEMPERATURA



Tiempo de estabilización de 14 minutos aproximadamente

Sobre pico del 9% respecto del valor nominal

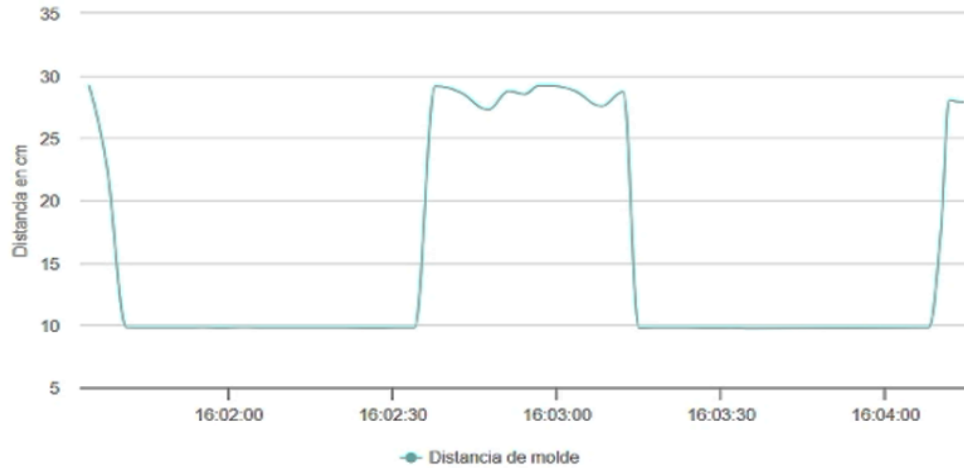




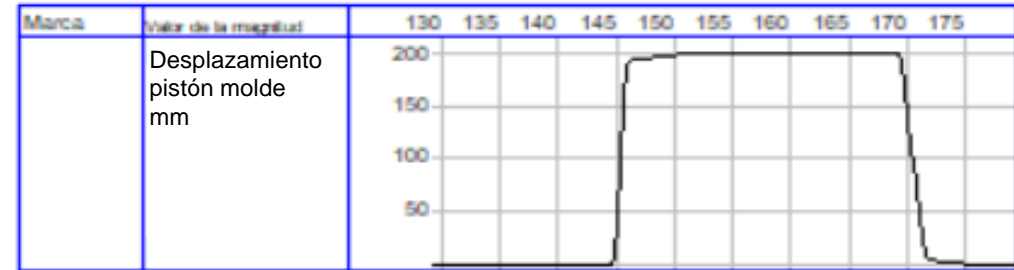
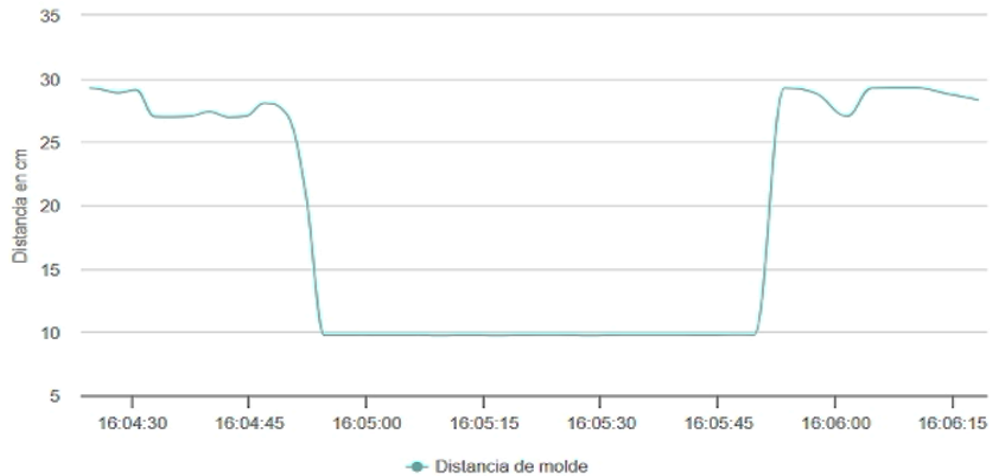
# 5. Pruebas y resultados

## Distancia de pistón para el molde

GRÁFICA DE MOVIMIENTO DEL MOLDE



GRÁFICA DE MOVIMIENTO DEL MOLDE



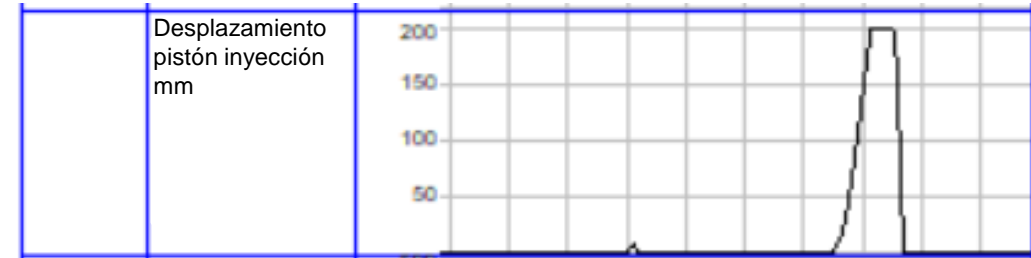
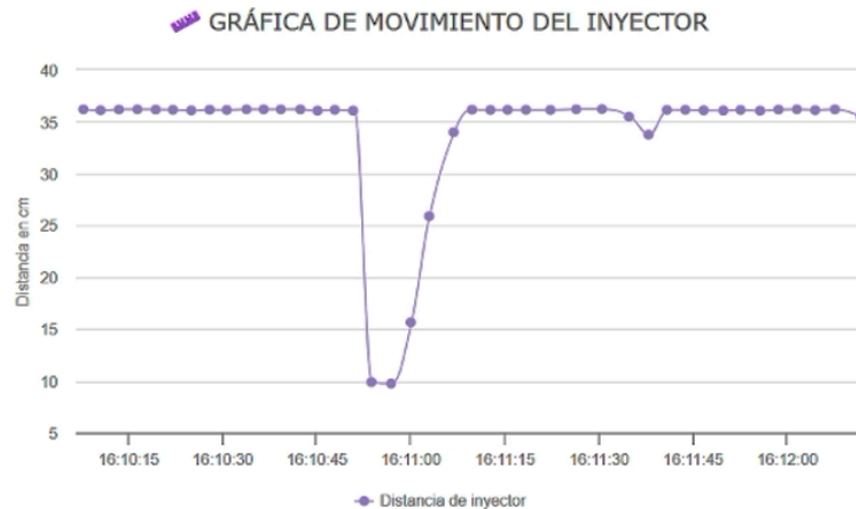
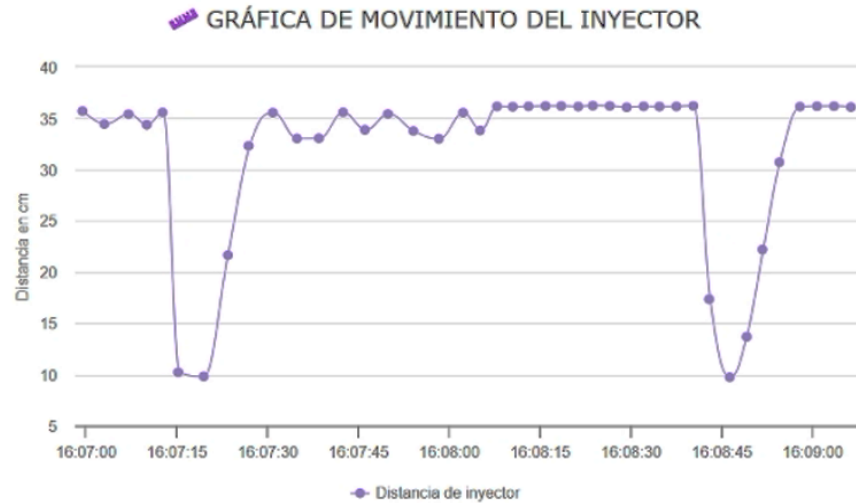
Simulación el movimiento de pistón es más suave

Gráficas reales es un ligeramente más brusco



# 5. Pruebas y resultados

## Distancia de pistón para el inyector



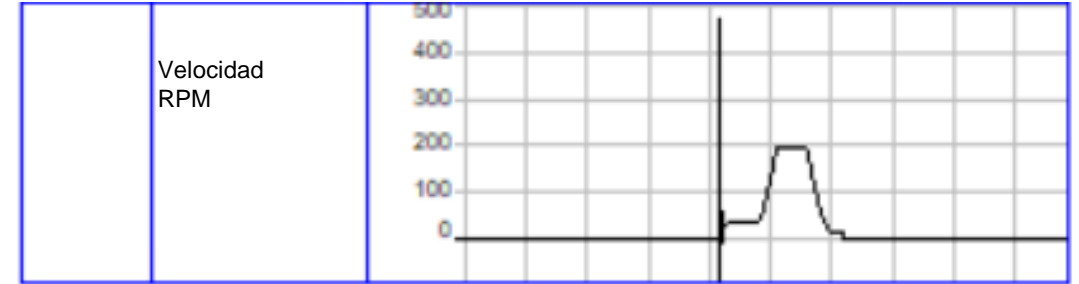
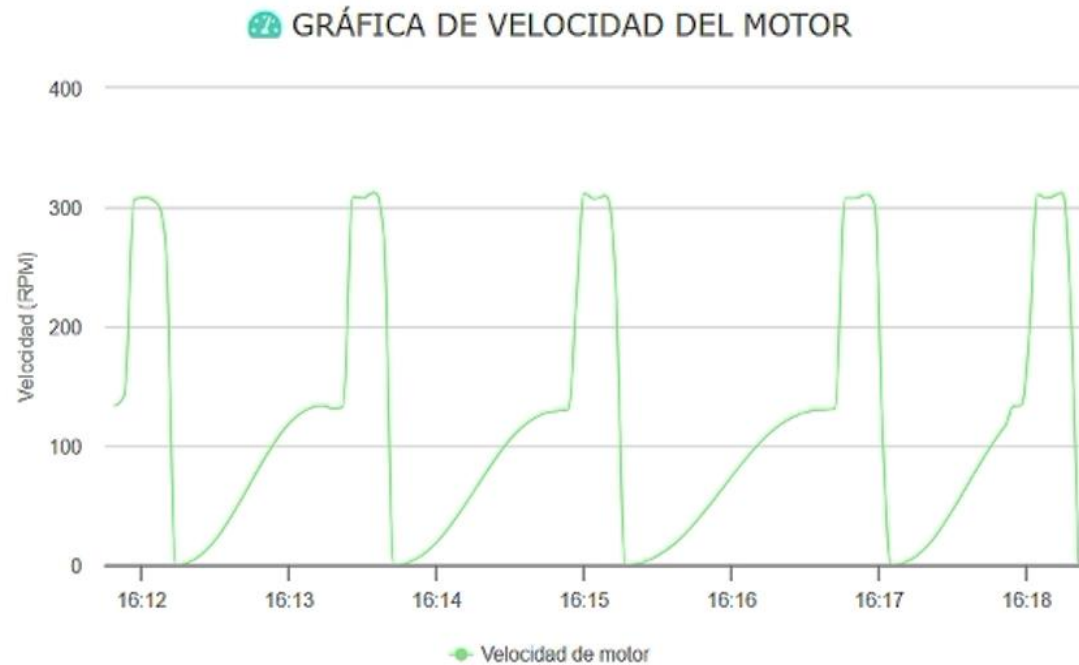
Simulación el movimiento de pistón es más suave

Gráficas reales es un ligeramente más brusco



# 5. Pruebas y resultados

## Velocidad del motor hidráulico



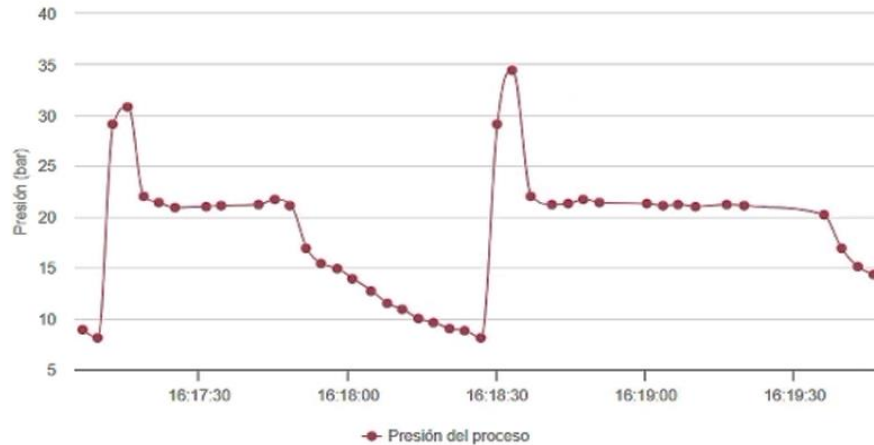
Gráficas muy similares

Buena repetibilidad de proceso  
real

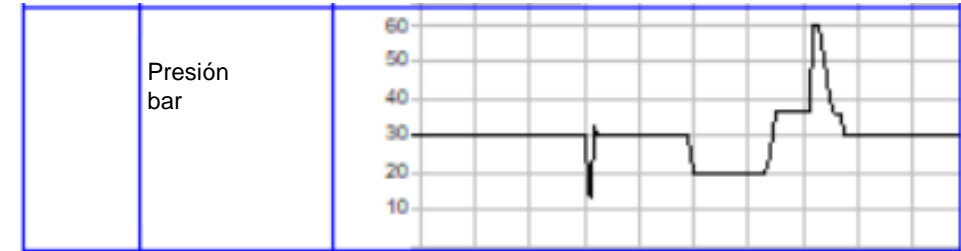
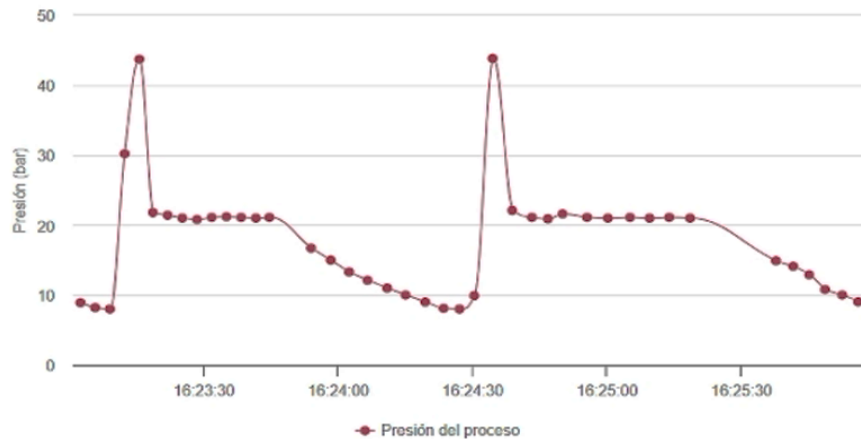


# 5. Pruebas y resultados

GRÁFICA DE PRESIÓN DEL PROCESO



GRÁFICA DE PRESIÓN DEL PROCESO



En la simulación, la variación de presión en el proceso es más rápida que la implementada

Valores no idénticos entre la simulación y la real



# 6. Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

- La simulación del proceso de moldeo por inyección ha sido valiosa para determinar los parámetros del proceso. Aunque existen pequeñas diferencias entre los resultados simulados y experimentales, se atribuyen a limitaciones físicas y velocidad de adquisición de datos en la simulación.
- Se diseñaron y simuló componentes mecánicos para acondicionar sensores en el circuito hidráulico. Los sensores proporcionaron datos precisos y repetibles para monitorear variables fundamentales en el aprendizaje estudiantil.
- Se creó un controlador PID para regular la temperatura en la etapa de fundición del material polimérico. El controlador logró un error en estado estable del 0.87%, estabilización adecuada y un sobre pico del 9%, cumpliendo los requisitos de diseño.
- Se diseñaron e implementaron interfaces gráficas estática y remota. La interfaz estática usa la pantalla Nextion, la remota integra la base de datos Firebase. Estas interfaces mejoraron la comprensión y monitoreo del proceso de moldeo.
- La repetibilidad del proceso es destacable, especialmente en la velocidad del motor hidráulico, demostrando confiabilidad y resultados consistentes en diferentes ejecuciones. El proyecto logra una implementación funcional y educativa del proceso de moldeo por inyección, con herramientas de monitoreo, control y análisis de variables.



# 6. Conclusiones y recomendaciones

## Recomendaciones

- Para mejorar la precisión en la adquisición de datos, se recomienda explorar la posibilidad de utilizar sensores de mayor calidad y precisión para medir las variables del proceso y revisar que la programación para el tratamiento de las señales generadas sea correcta. Se recomienda buscar sensores con menor error de medición y mayor resolución de ser posible debido a que contribuirán a una adquisición de datos más fiable y mejorarán la exactitud de los resultados obtenidos.
- Para la obtención de mejores resultados entre los datos reales y los simulados, se recomienda realizar ajustes en la simulación del circuito hidráulico de ser posible para obtener resultados más cercanos a la realidad. Considerar las limitaciones físicas de los componentes, como la cantidad de aceite en las mangueras y la velocidad de obtención de datos con respecto a los tiempos de muestreo, para lograr una mayor precisión en la predicción de las variables del proceso, como la velocidad del motor hidráulico y la presión hidráulica.



Muchas gracias



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