

# SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE UN ESTUDIO DE AUDIO POR MEDIO DEL MOVIMIENTO DE PANELES ACÚSTICOS

**Instituto Politecnico Nacional**  
**Unidad Profesional**  
**Interdisciplinaria en Ingeniería y**  
**Tecnologías Avanzadas**  
**Trabajo Terminal 2**



## Integrantes:

- **Barbosa Mercado José Aarón**
- **Camarena Rodríguez Alberto**
- **Muñoz Ceballos Teddy Xavier**
- **Sánchez Trujillo Daniel**

## Asesores:

- **Ing. Erick López Alarcón**
- **Dr. Alberto Luviano Juárez**
- **Dr. Rafael Trovamala Landa**

# Contenidos

<b>1. Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivo general .....</b>	<b>4</b>
a. <b>Objetivos TT2 .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Implementación .....</b>	<b>7</b>
a. <b>MF3. Módulo modificador de la acústica .....</b>	<b>8</b>
b. <b>MF2. Módulo de generación y medición de la acústica .....</b>	<b>15</b>
c. <b>MF1. Módulo de procesamiento .....</b>	<b>18</b>
d. <b>MF5. Módulo gestor de energía .....</b>	<b>24</b>
e. <b>MF4. Módulo de interfaz de usuario .....</b>	<b>28</b>
<b>4. Integración .....</b>	<b>37</b>
<b>5. Análisis de resultados .....</b>	<b>39</b>
<b>6. Orquestación .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>45</b>
<b>8. Trabajo a futuro .....</b>	<b>47</b>

# Introducción

## ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO

- Mejora la calidad del sonido en un espacio. Llega a ser un proceso empírico, complicado y estático.
- Se requiere de un sistema automático que modifique la acústica en un estudio de audio de forma dinámica.



# Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema que automatice el acondicionamiento acústico de un estudio de audio por medio del movimiento de paneles acústicos.

# Objetivos TT2

- Implementar un módulo de modificación de la acústica mediante el movimiento de paneles acústicos de absorción, reflexión y difusión, en dos paredes adyacentes, con control inteligente de posición y acondicionamiento estático de las demás superficies para acondicionar la acústica de un estudio de audio a diferentes instrumentos.
- Implementar una plataforma de control y monitoreo del sistema para el usuario mediante software, que muestre los parámetros acústicos calculados, mediciones, posiciones de los paneles y toda la información asociada.

# Objetivos TT2

- Manufacturar e implementar el sistema energético, verificar su funcionamiento.
- Implementar un módulo de medición de la respuesta del estudio de audio ante un barrido senoidal a distintas frecuencias para caracterizar su acústica.
- Validar el sistema mecatrónico en el ambiente de prueba mediante pruebas de acondicionamiento para distintos instrumentos para la resolución de errores y comprobación del correcto funcionamiento.

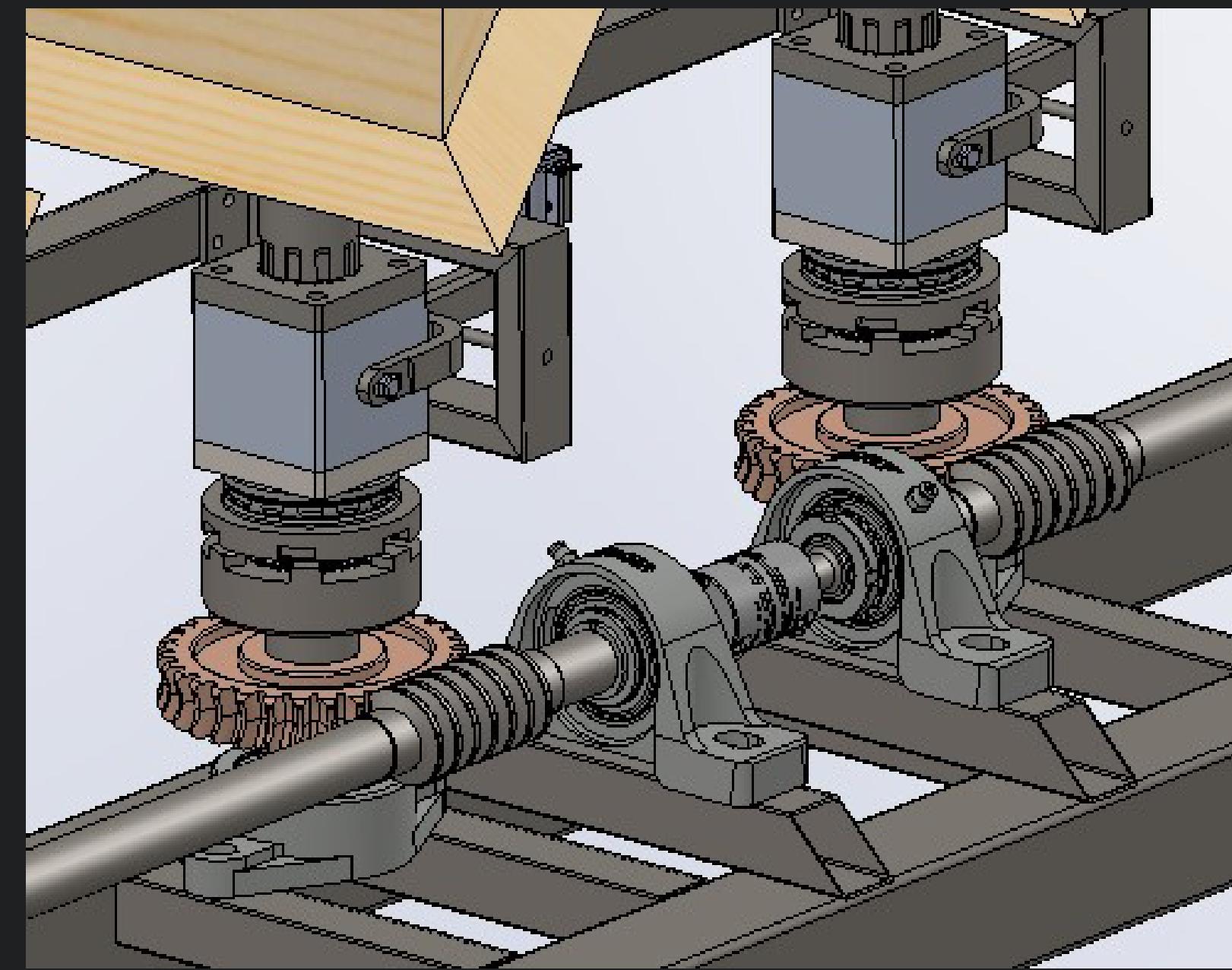
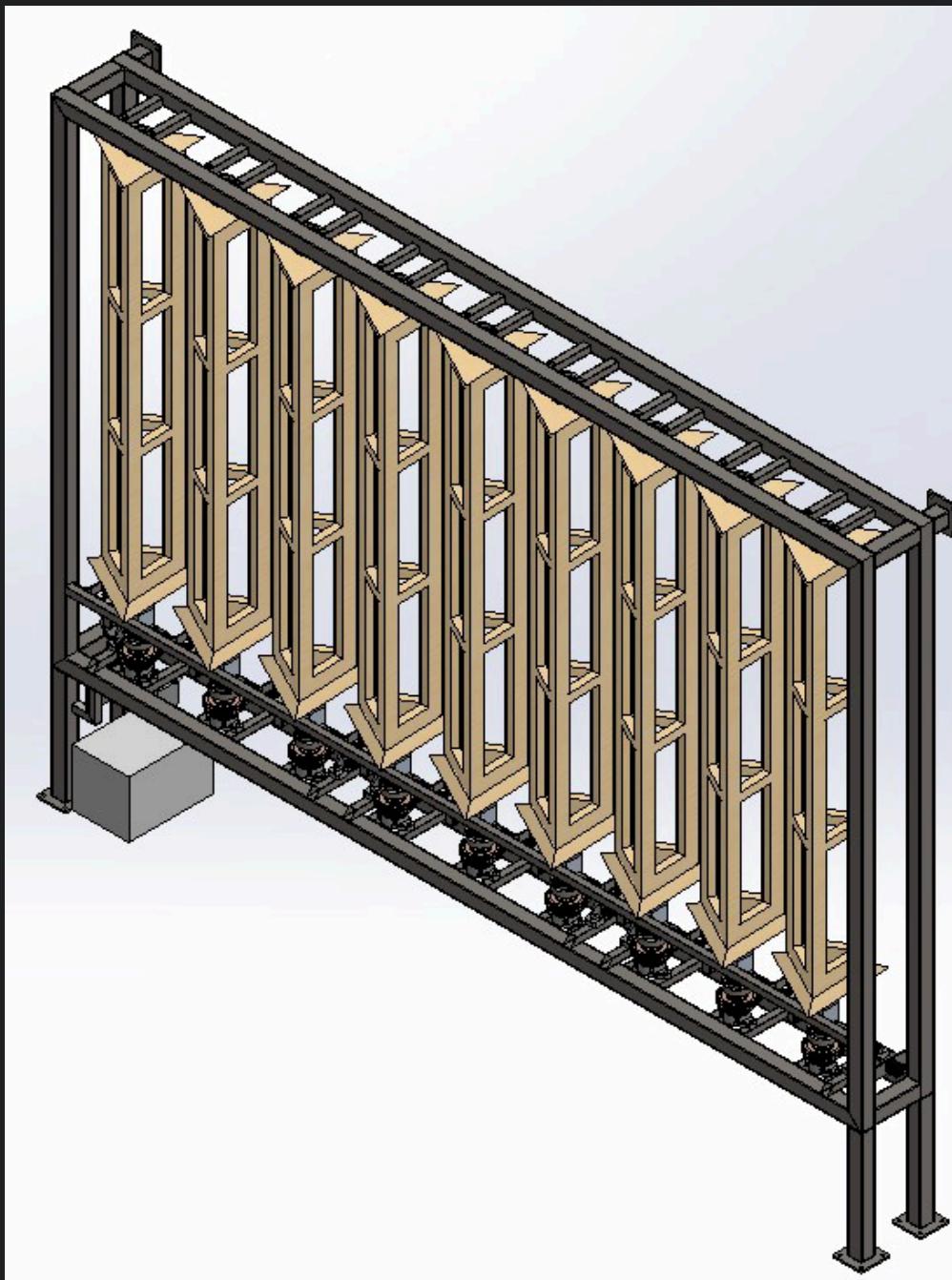
# Implementación

# MF3. Módulo Modificador de la Acústica

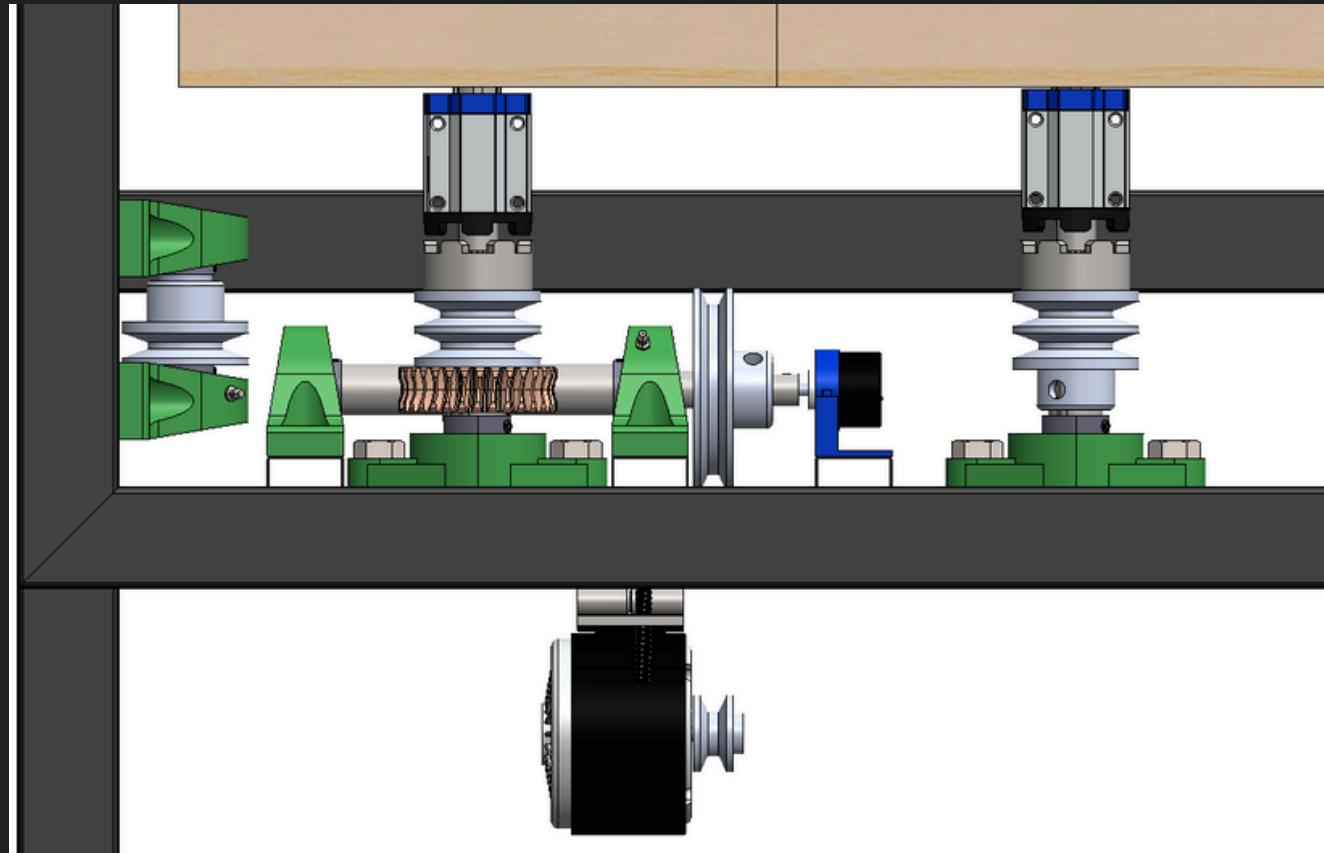
# Paneles



# Diseño inicial



# Primera implementación

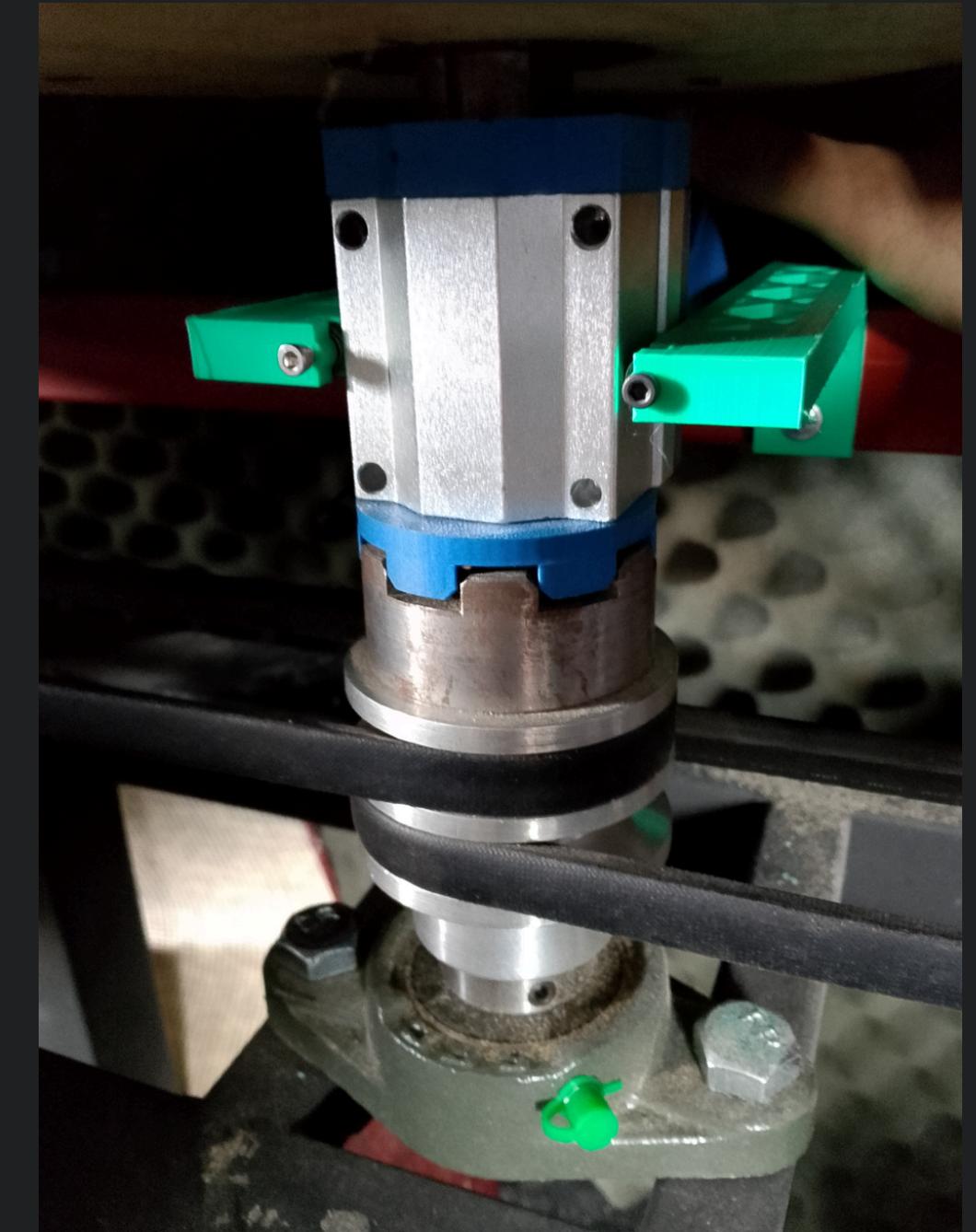


Sistema de transmisión mediante poleas en V.

- No requiere lubricación.
- Menos mantenimiento

# Primera implementación

Sistema de acople y  
desacople



# Adecuaciones

Alineadores del sistema de acople



Sistema de auto-alineación

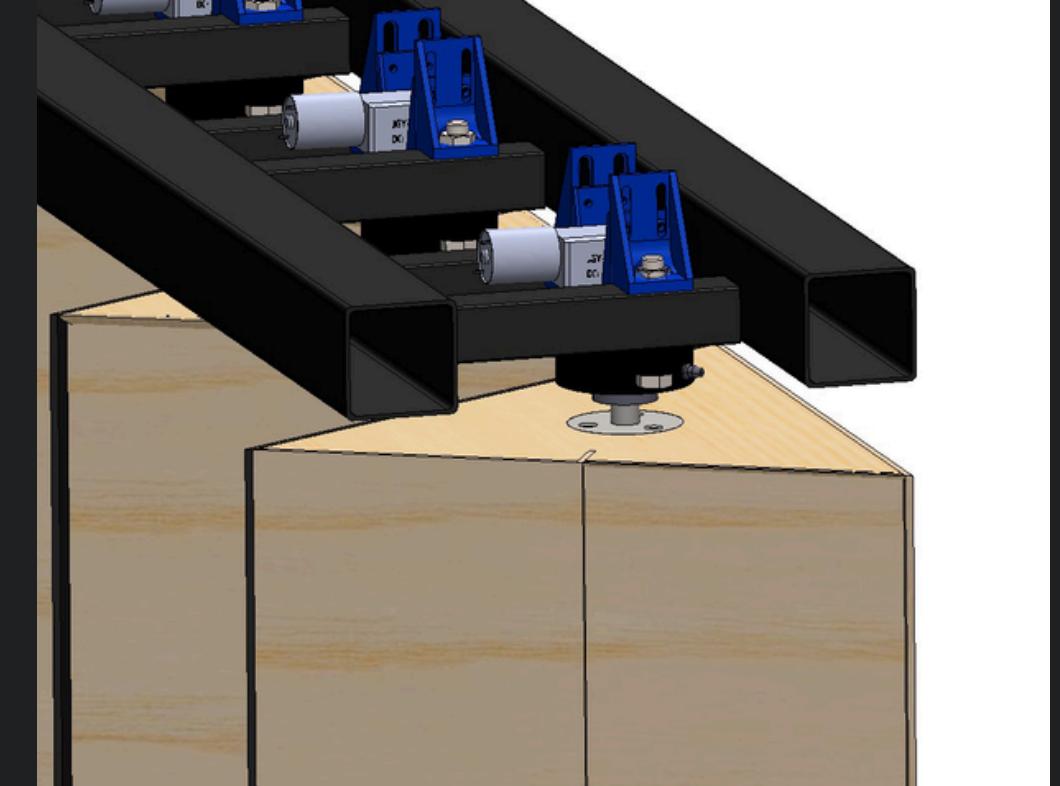
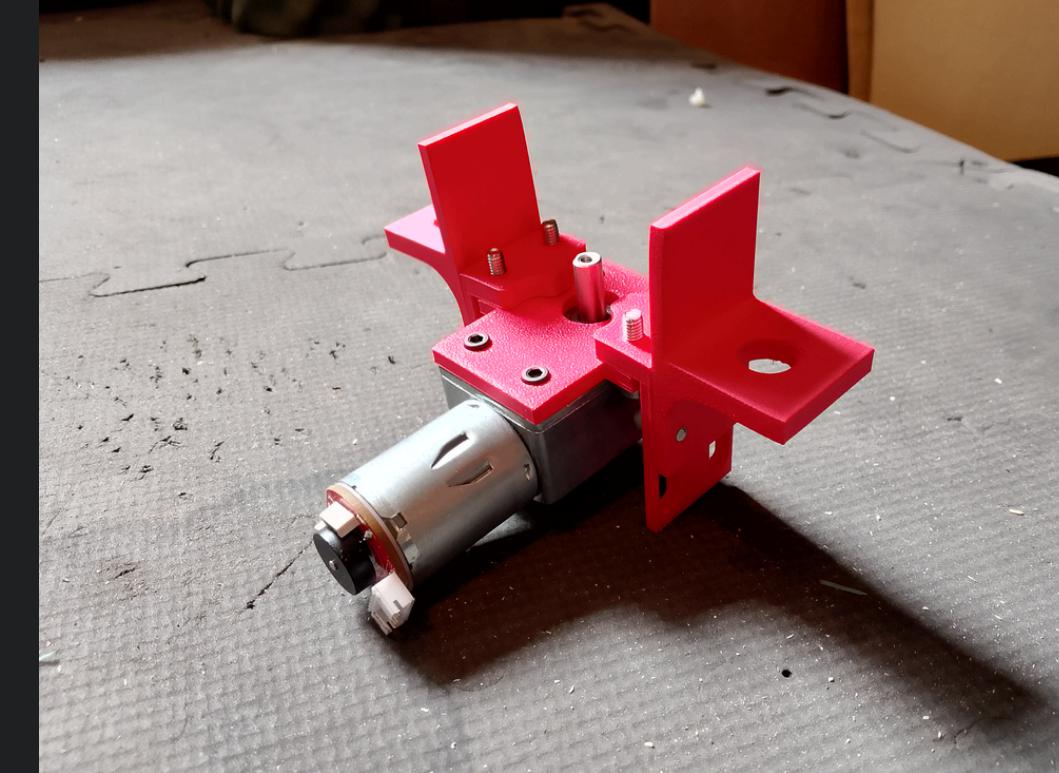


# Cambio en el sistema de movimiento

## Causas

- Desincronización de los paneles
- Sensibilidad del sistema de acoplamiento

## Solución



# MF2. Módulo de Generación y Medición de la Acústica

# Medición de la acústica

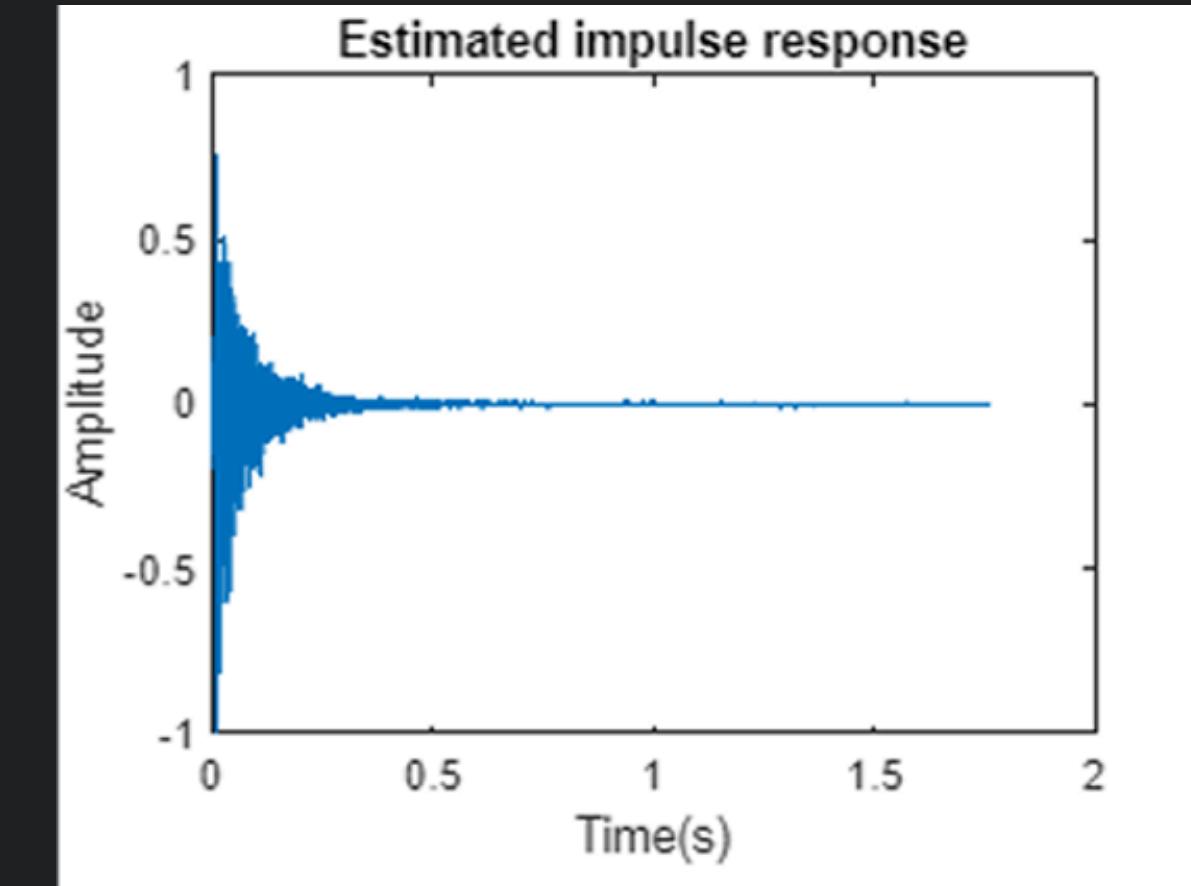
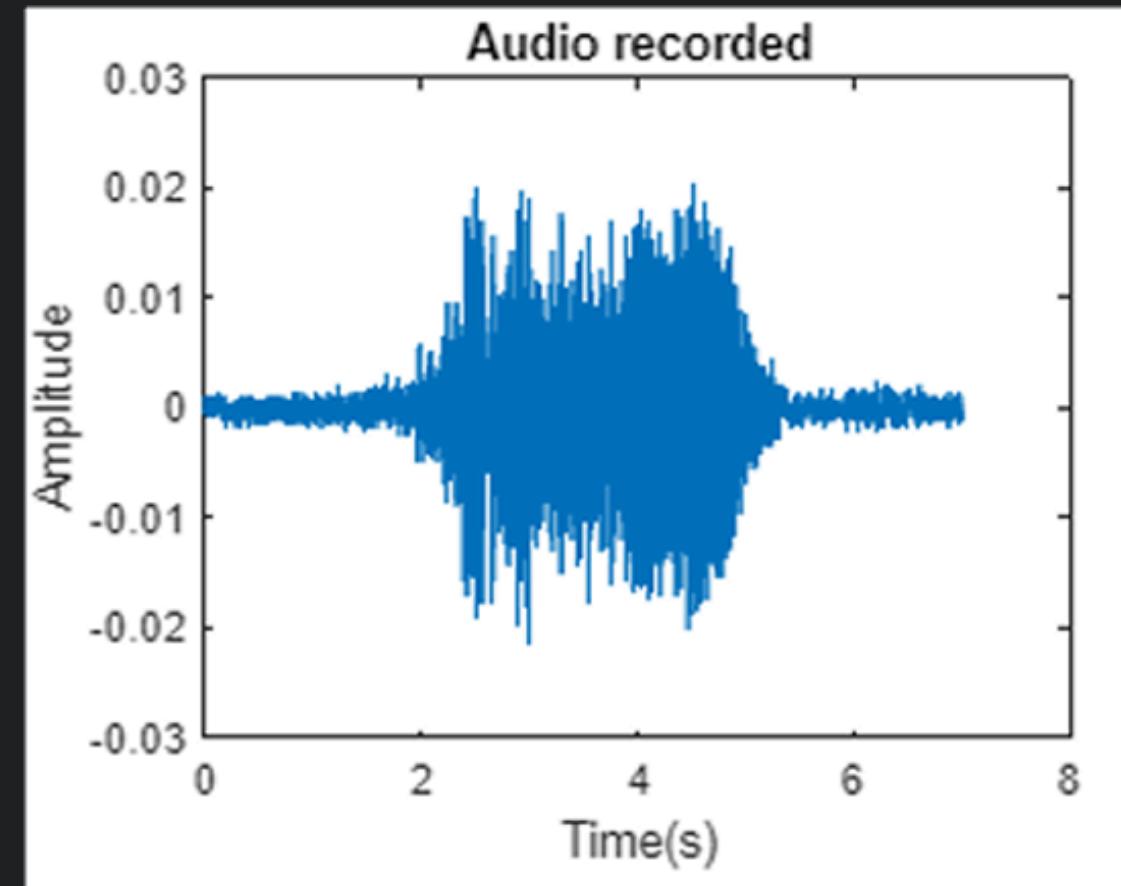
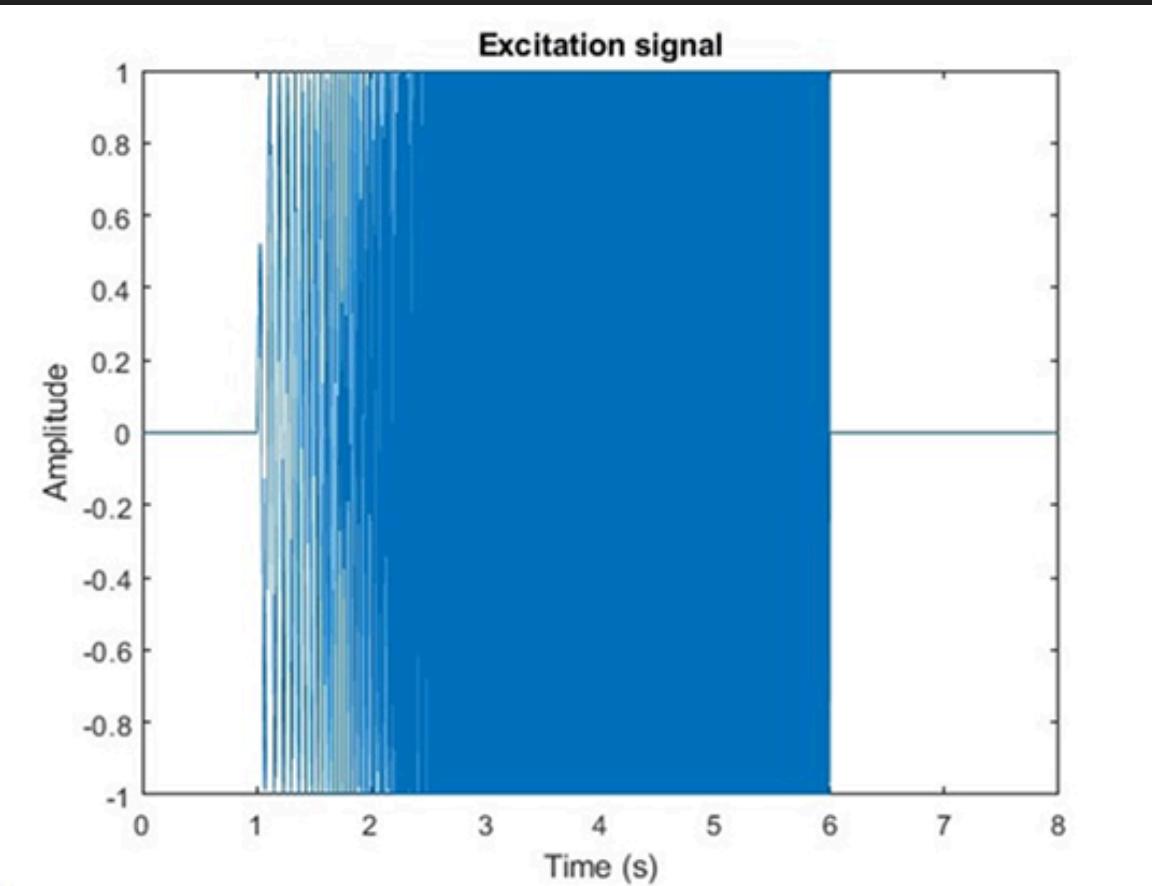
Excitación



Respuesta del cuarto



Respuesta al impulso



```
def impzest(excitation_file, response_file, band):
    excitation, fs = soundfile.read(excitation_file)
    response, _ = soundfile.read(response_file)

    # Convertir sonido mono a stereo
    ...

    # Inversión temporal de toda la señal de excitación
    excitation_reversed = excitation_filtered[::-1]

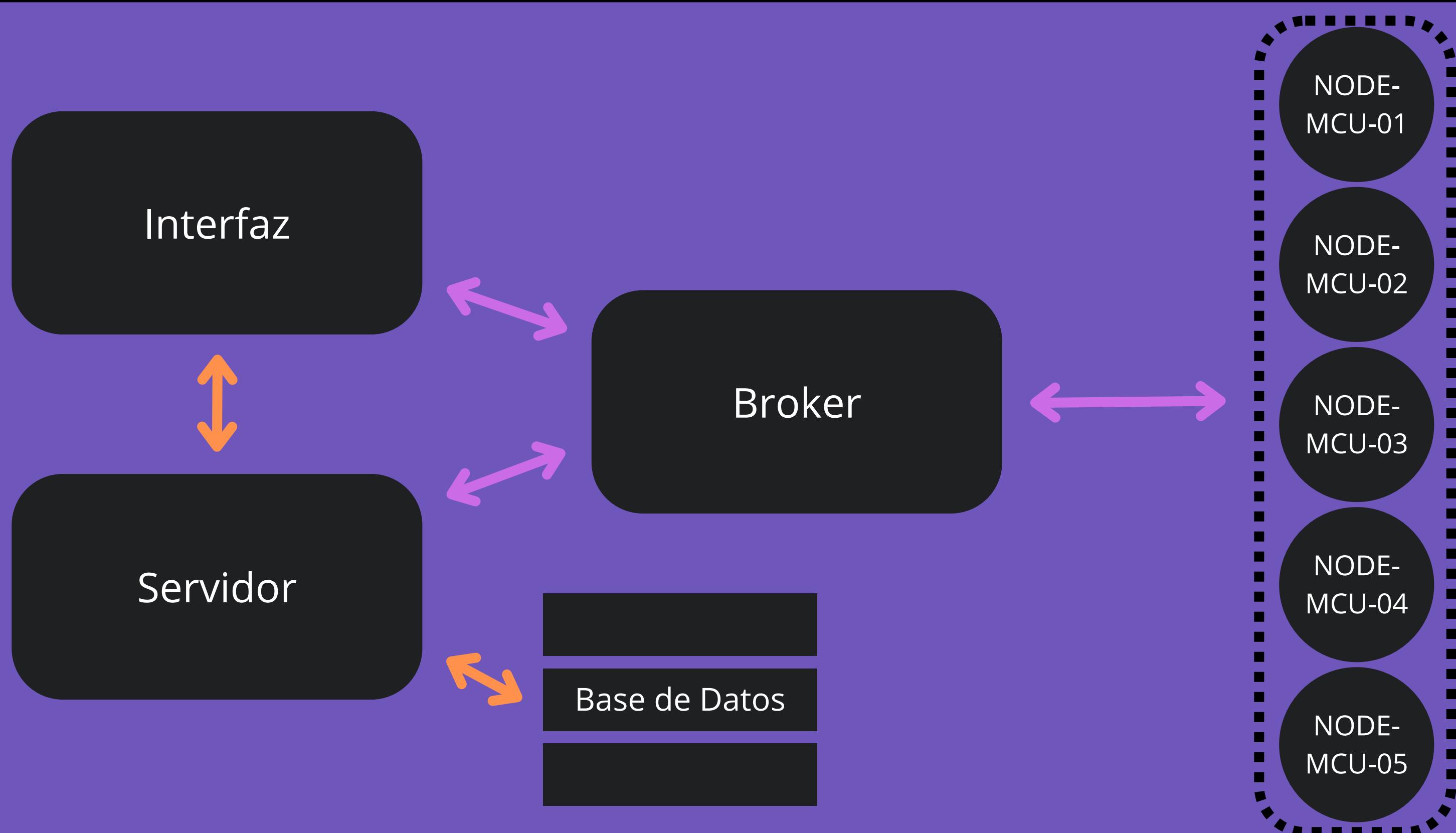
    # Convolución (Deconvolución con la inversión temporal)
    impulse_response = fftconvolve(response, excitation_reversed, mode='full')
    impulse_response /= np.max(np.abs(impulse_response))
    impulse_response = impulse_response[len(excitation):]

    # Diseñar un filtro de banda prohibida
    # para eliminar las frecuencias de 88 Hz a 5657 Hz
    nyq = 0.5 * fs
    low = 88 / nyq
    high = 5657 / nyq
    sos = butter(6, [low, high], btype='bandpass', output='sos')
    impulse_response = sosfiltfilt(sos, impulse_response)

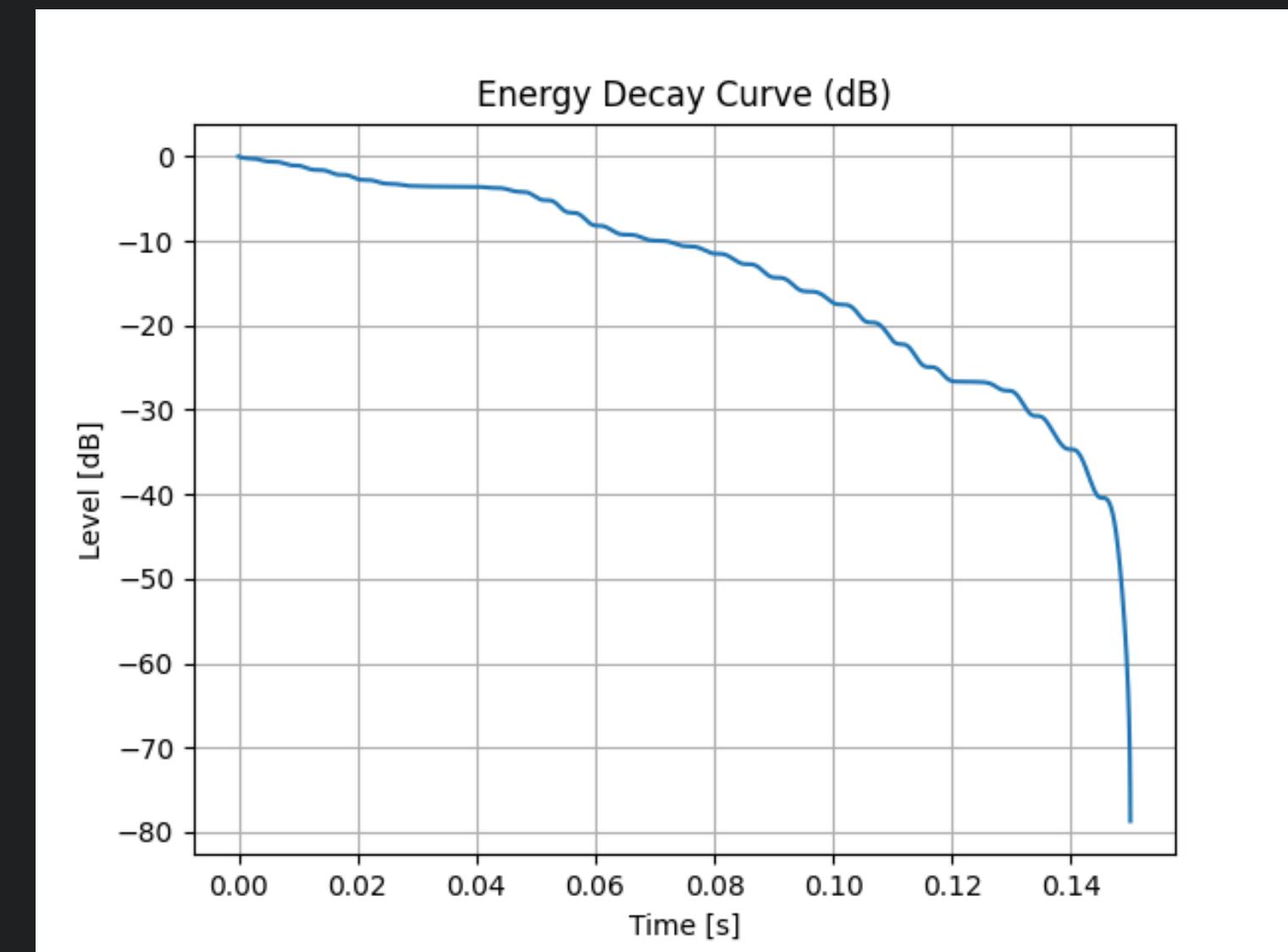
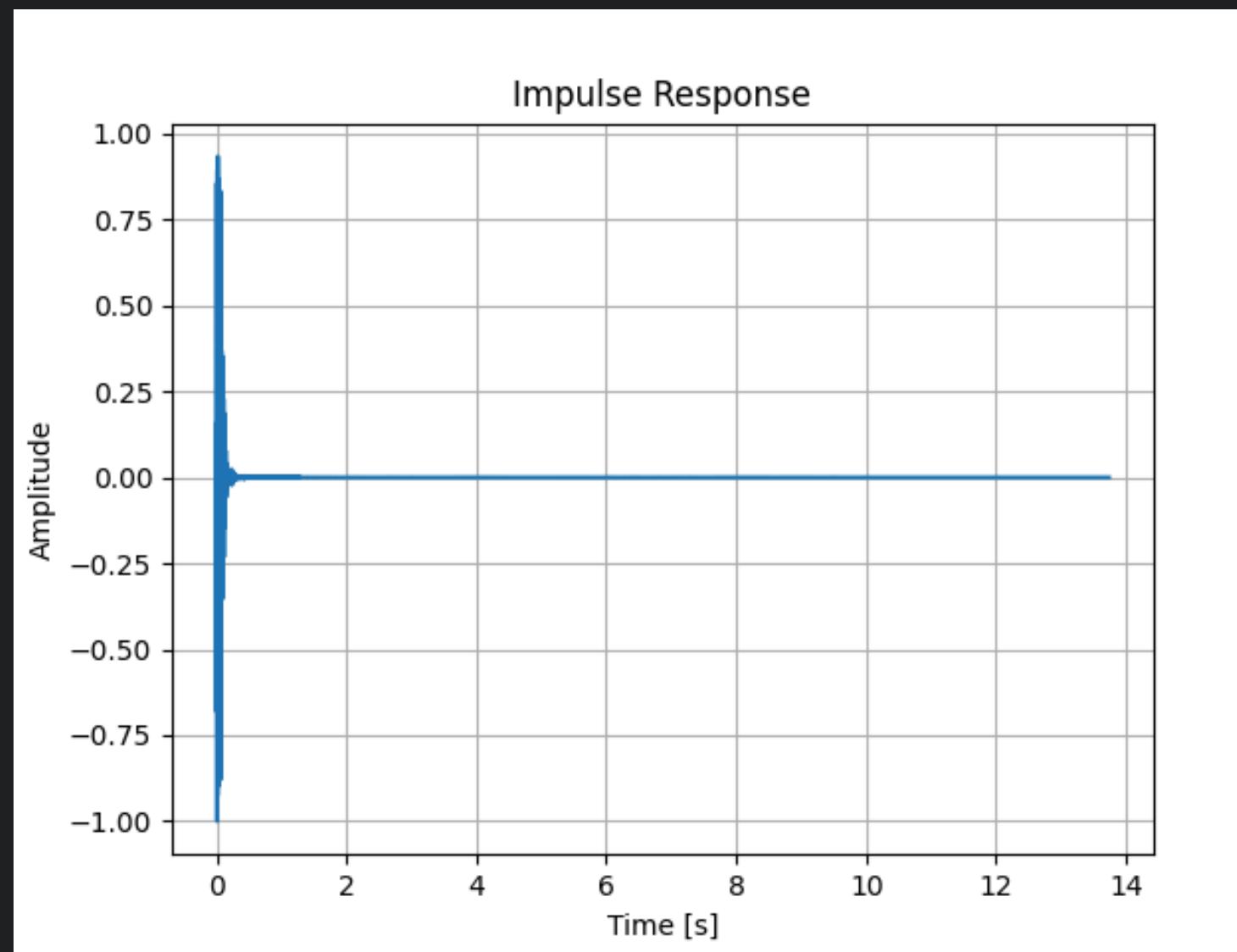
return impulse_response, fs
```

# MF1. Módulo de procesamiento

# Interacciones del sistema

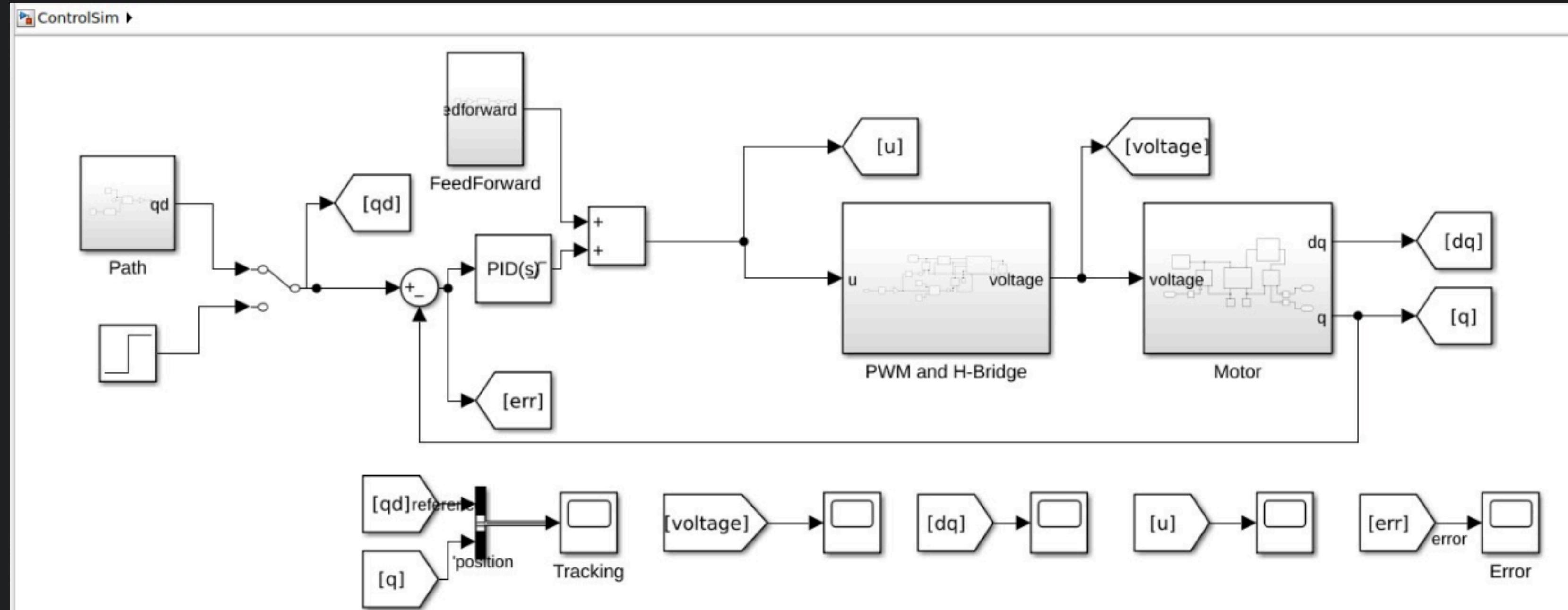


# Acondicionamiento acústico

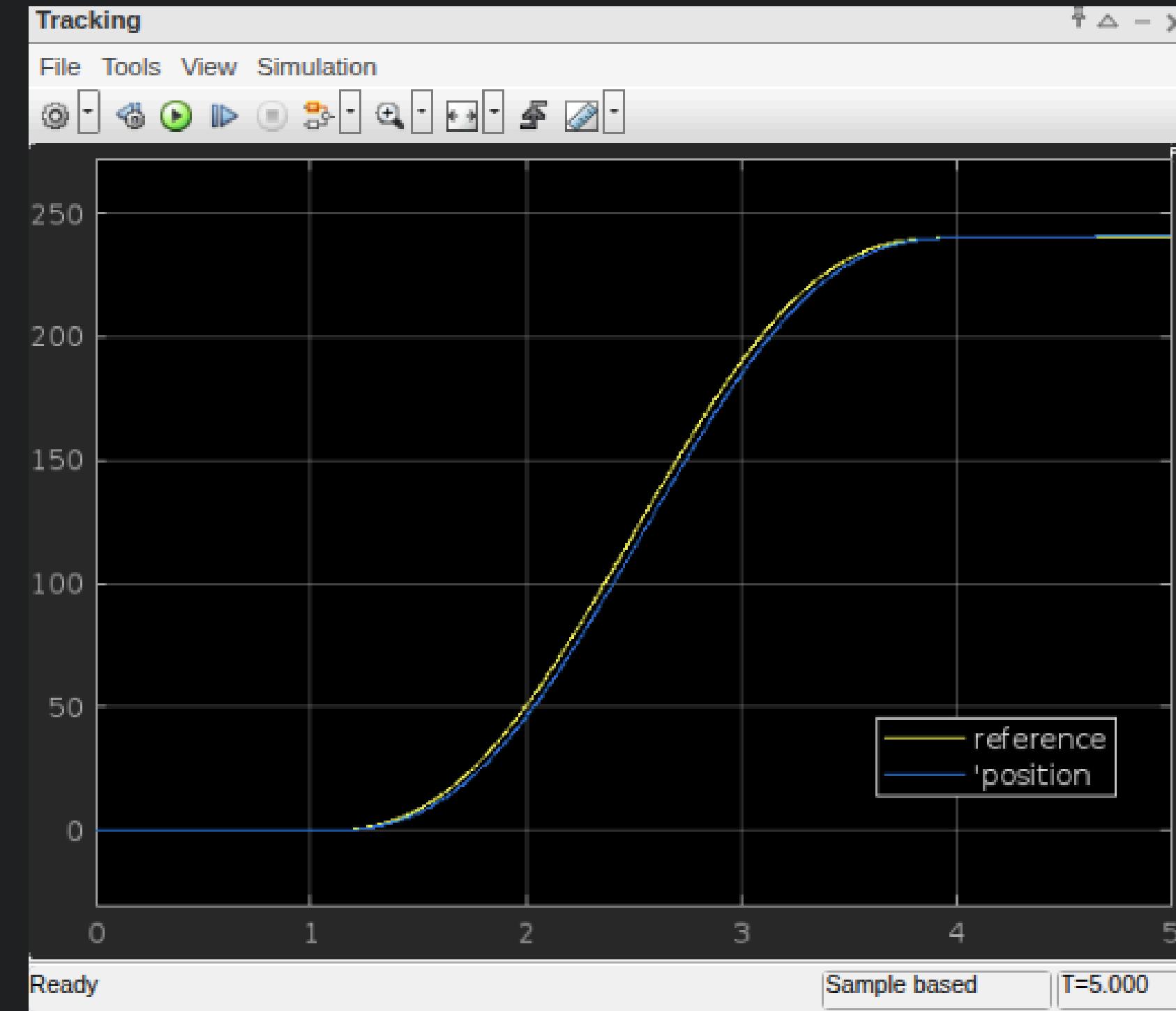


```
RTcurrent: 0.2568450052410061, RTdesired: 0.28  
Old panel positions: [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]  
New panel positions: [3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]
```

# Estrategia de control

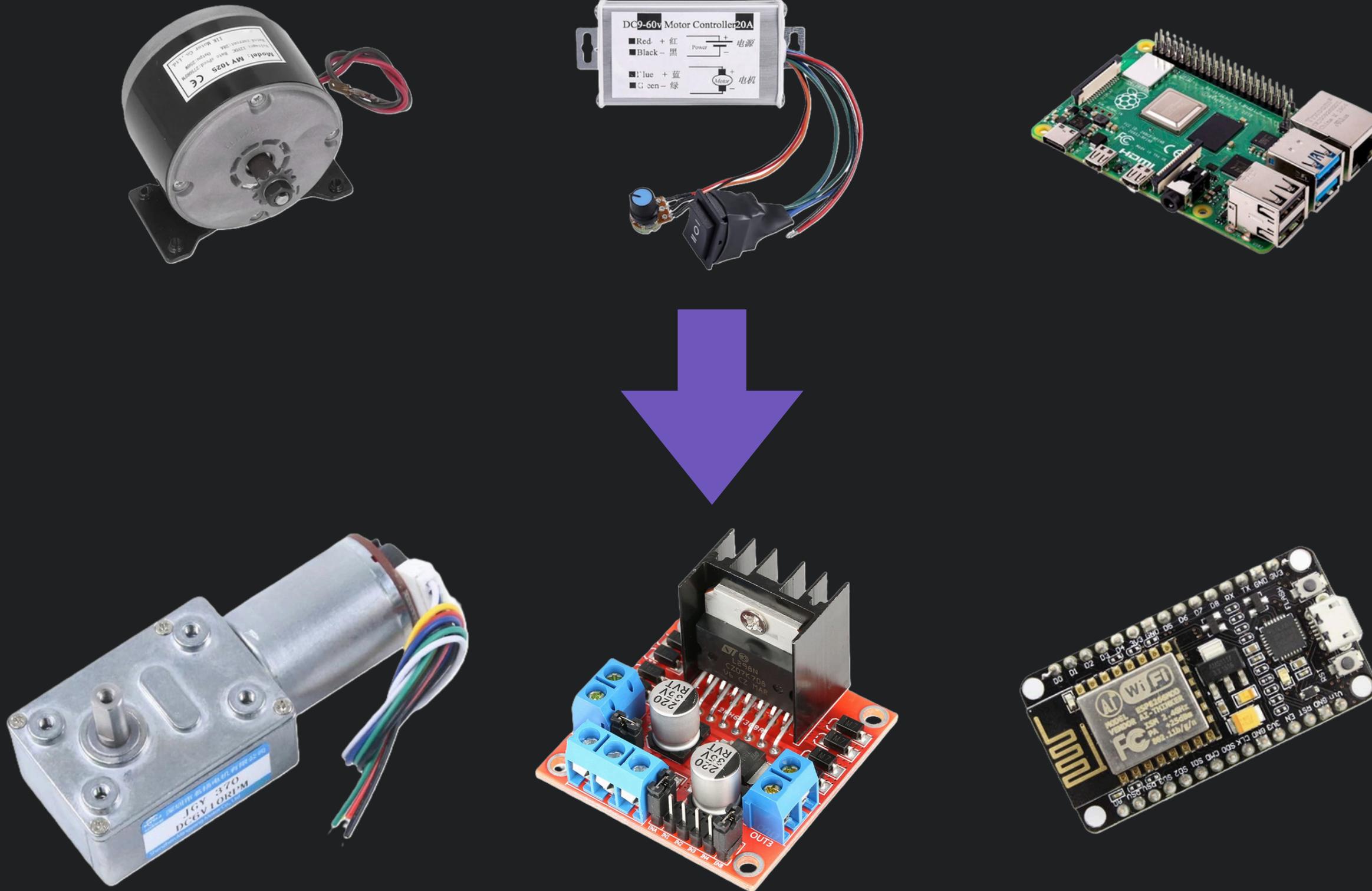


# Estrategia de control

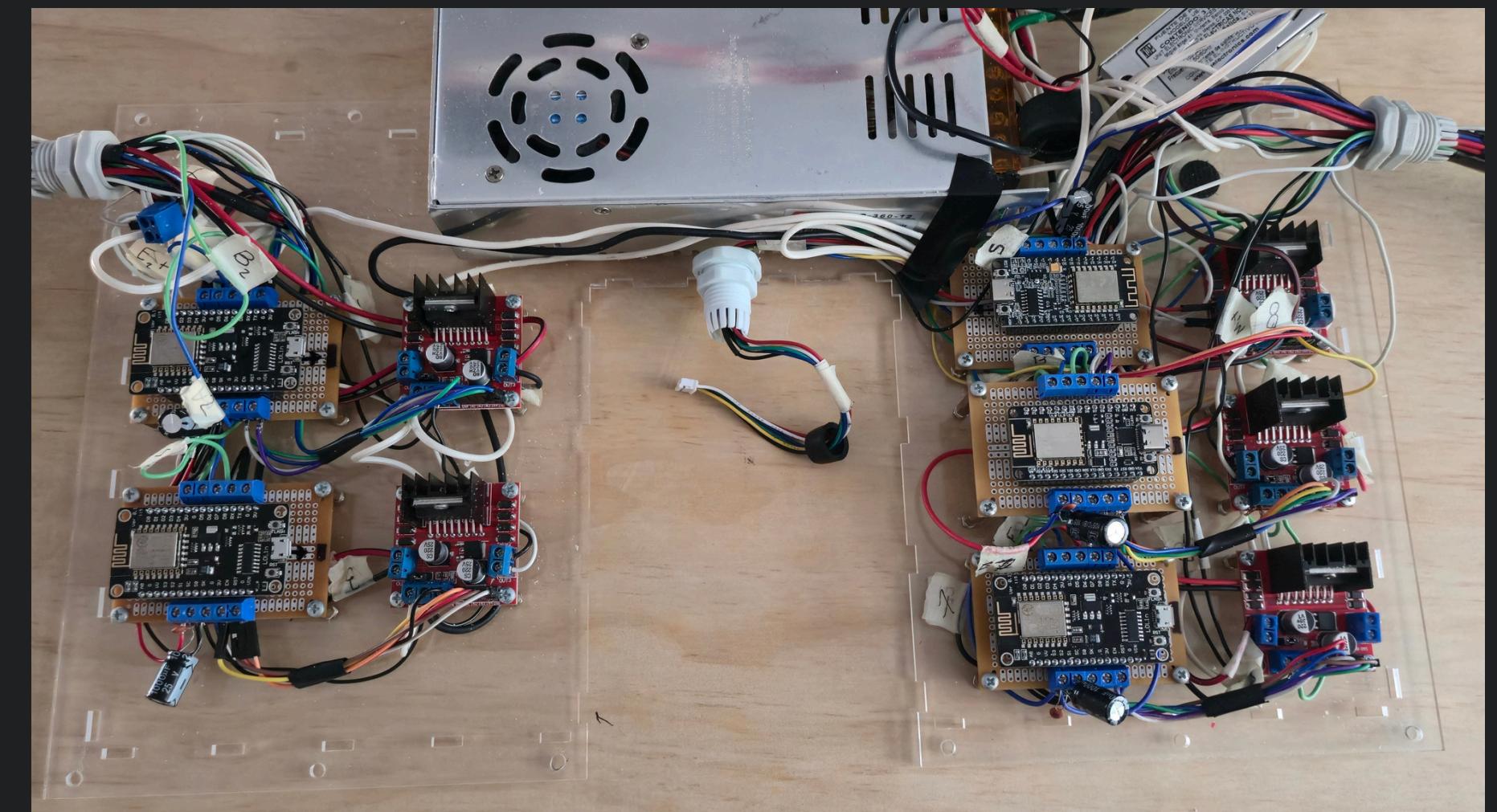
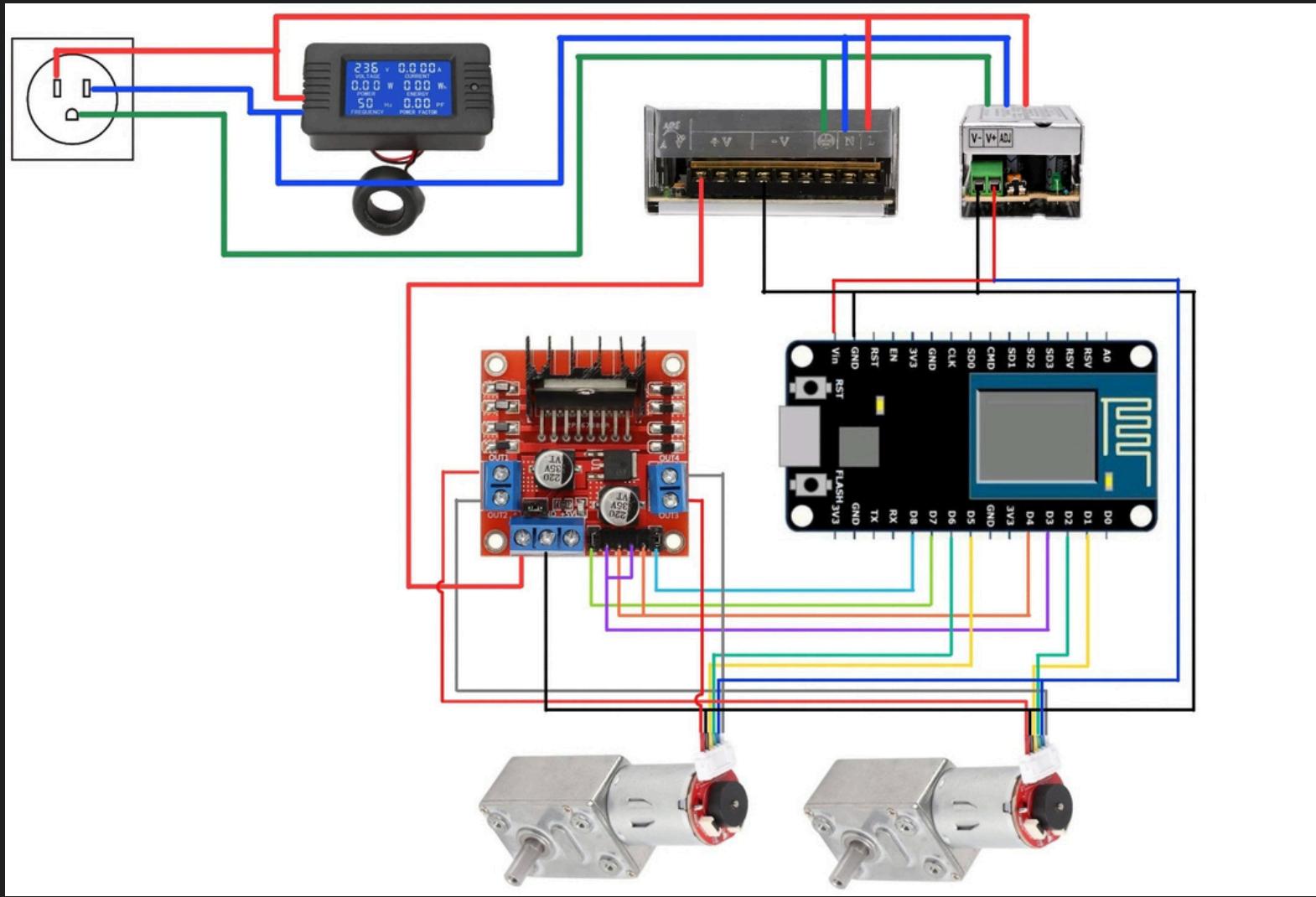
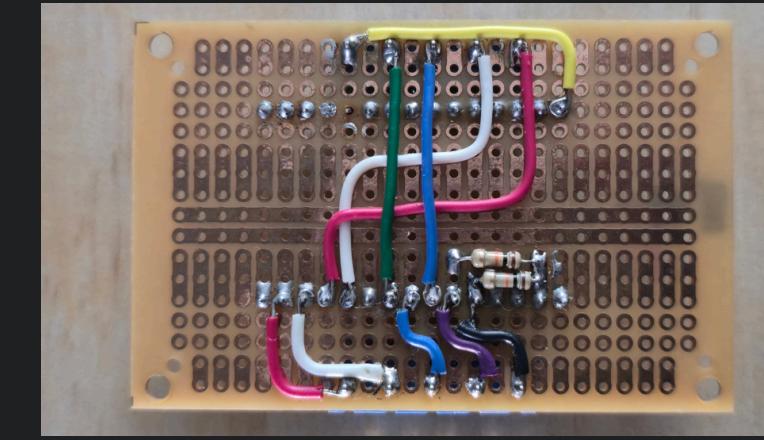
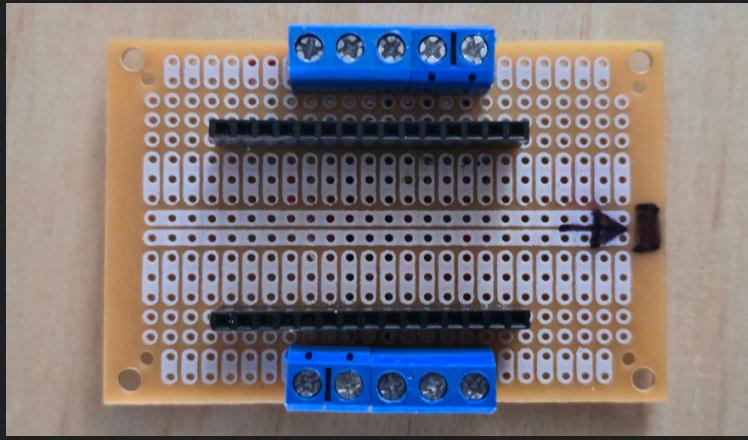


# MF5. Módulo Gestor de Energía

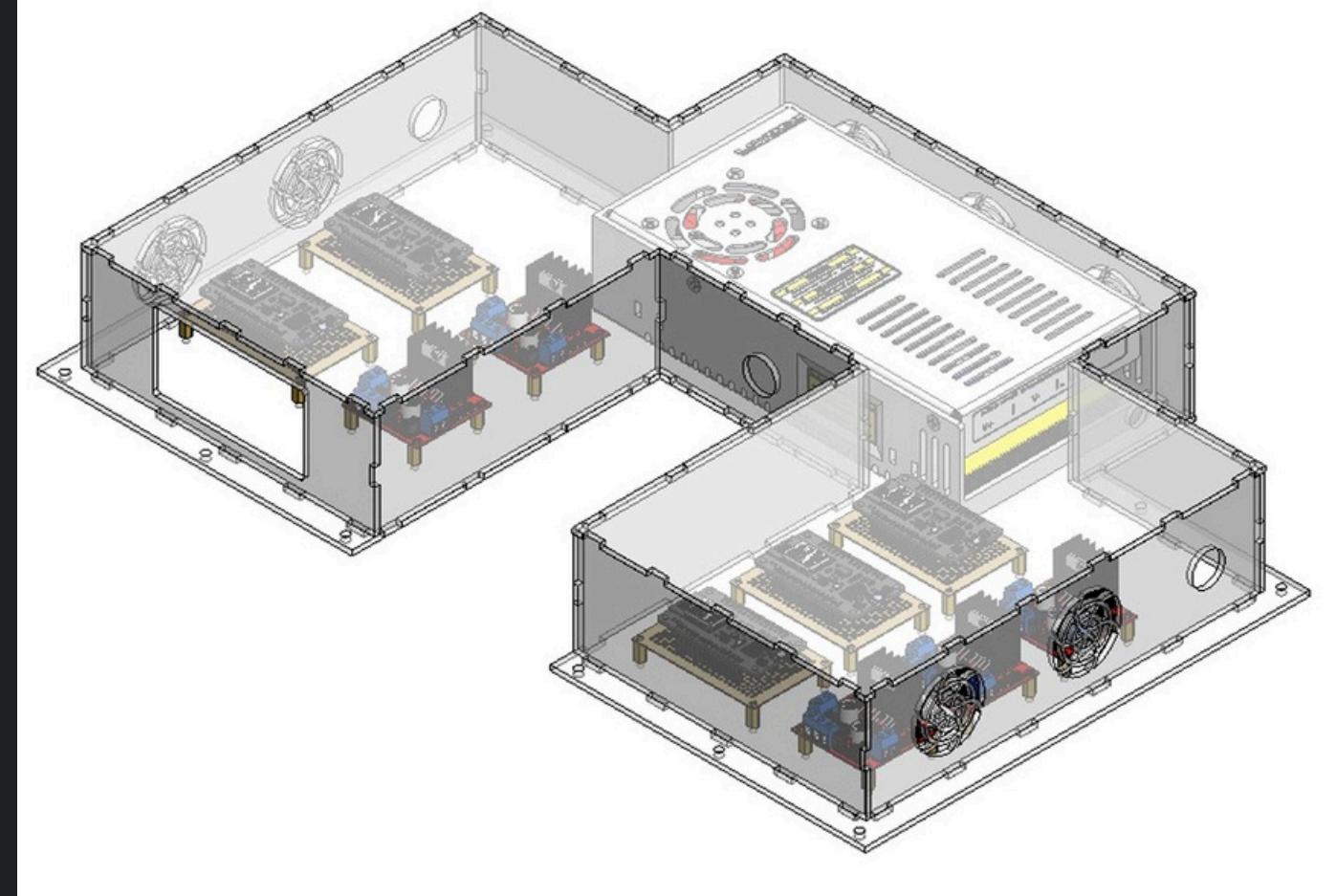
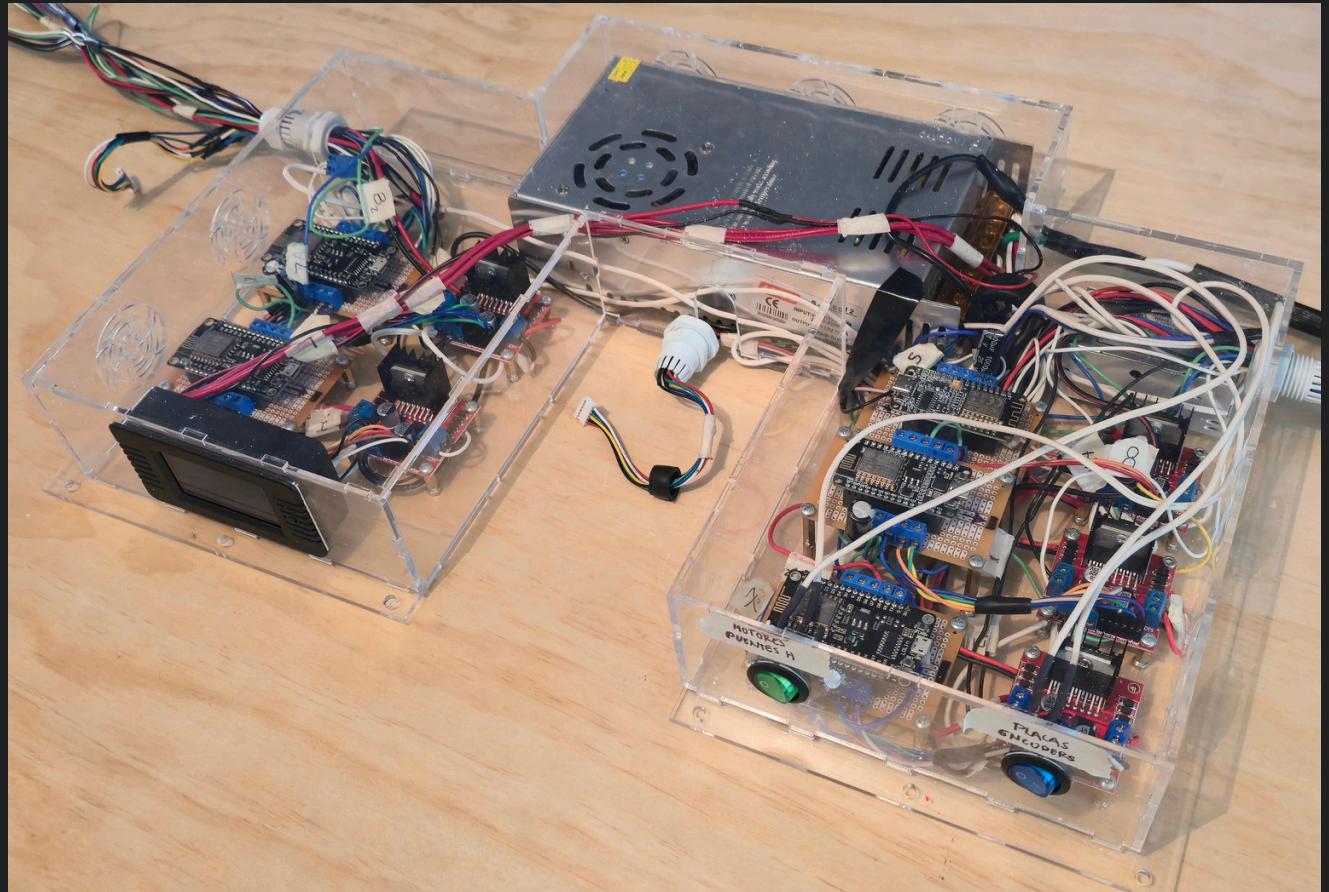
# Cambio de componentes



# Circuito Completo



# Contenedor de los componentes electrónicos



# MF4. Módulo de Interfaz de Usuario

 Current Reading

 New Treatment

 History

 Manual Control

 Control Graphics

## Last Treatment

Date: 23/6/2025, 7:27:00 p.m. RT Value: 0.21933212998886573

## Connection Status

 Disconnected

# Latest Successful Treatment

Desired RT: 0.37s

Initial RT: 0.31s

Final RT: 0.22s

Room Volume: 63.70 m<sup>3</sup>

Date: 23/6/2025, 7:27:00 p.m.



Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

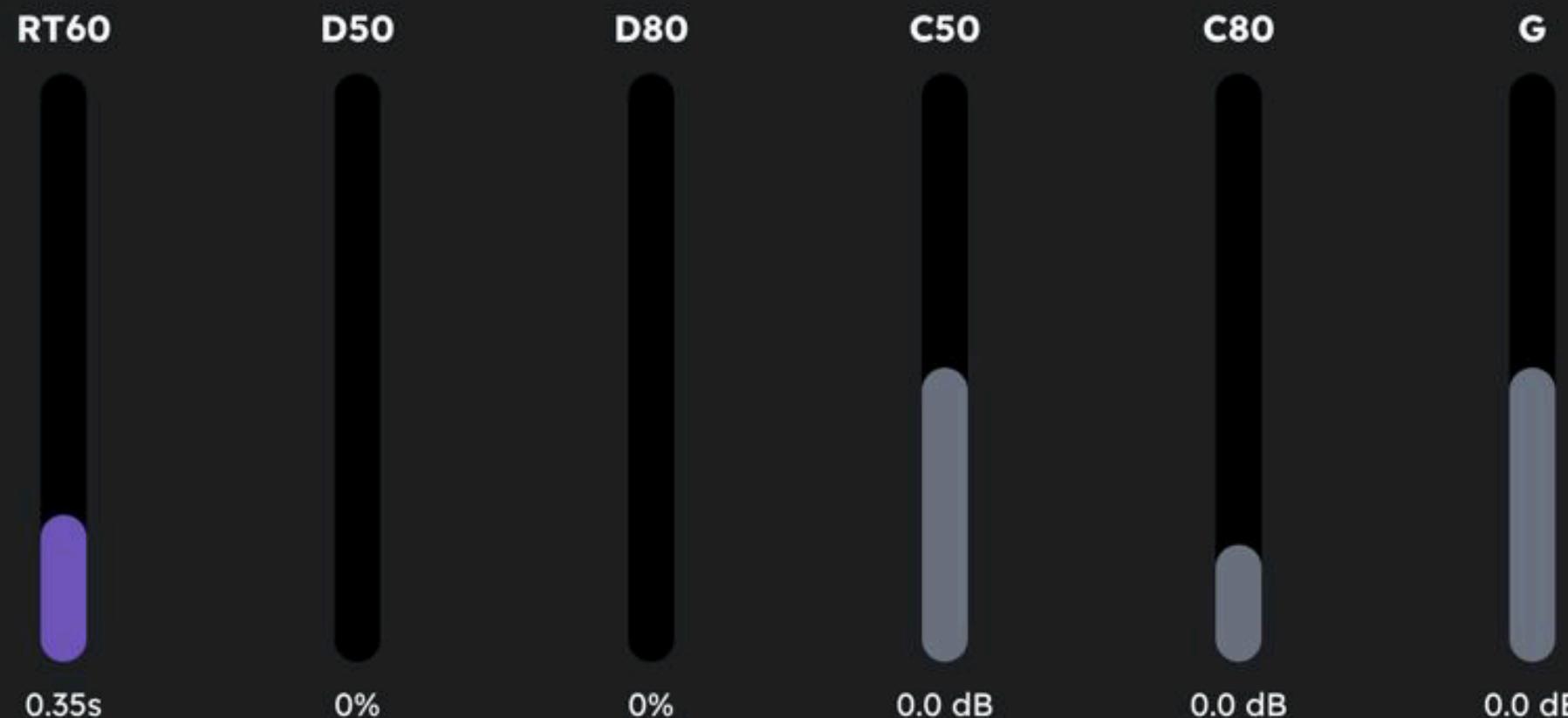
## Last Treatment

Date: 23/6/2025, 7:21:29 p.m. RT Value: 0.22119208107066457

## Connection Status

Connected

# Acoustic Treatment



Start Treatment

Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

## Last Treatment

Date: 23/6/2025, 7:27:00 p.m. RT Value: 0.21933212998886573

## Connection Status

Disconnected

# Treatment History

### Treatment

Failed

23/6/2025, 7:44:09 p.m.

Desired RT60:

0.20s

Initial RT60:

0.28s

Final RT60:

0.24s

Room Volume:

63.7 m<sup>3</sup>

### Treatment

Success

23/6/2025, 7:27:00 p.m.

Desired RT60:

0.37s

Initial RT60:

0.31s

Final RT60:

0.22s

Room Volume:

63.7 m<sup>3</sup>

[Click to view details →](#)

### Treatment

Success

23/6/2025, 7:21:29 p.m.

Desired RT60:

0.20s

Initial RT60:

0.31s

Final RT60:

0.22s

Room Volume:

63.7 m<sup>3</sup>

[Click to view details →](#)

### Treatment

Success

23/6/2025, 6:45:50 p.m.

Desired RT60:

0.20s

Initial RT60:

0.28s

Final RT60:

0.29s

Room Volume:

63.7 m<sup>3</sup>

### Treatment

Failed

23/6/2025, 6:44:16 p.m.

Desired RT60:

0.35s

Initial RT60:

0.28s

Final RT60:

s

Room Volume:

63.7 m<sup>3</sup>

### Treatment

Failed

23/6/2025, 6:36:12 p.m.

Desired RT60:

0.20s

Initial RT60:

0.31s

Final RT60:

0.20s

Room Volume:

63.7 m<sup>3</sup>

Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

## Last Treatment

Date: 23/6/2025, 7:27:00 p.m. RT Value: 0.21933212998886573

## Connection Status

Disconnected

# Treatment History

← Back to History

## Treatment Details

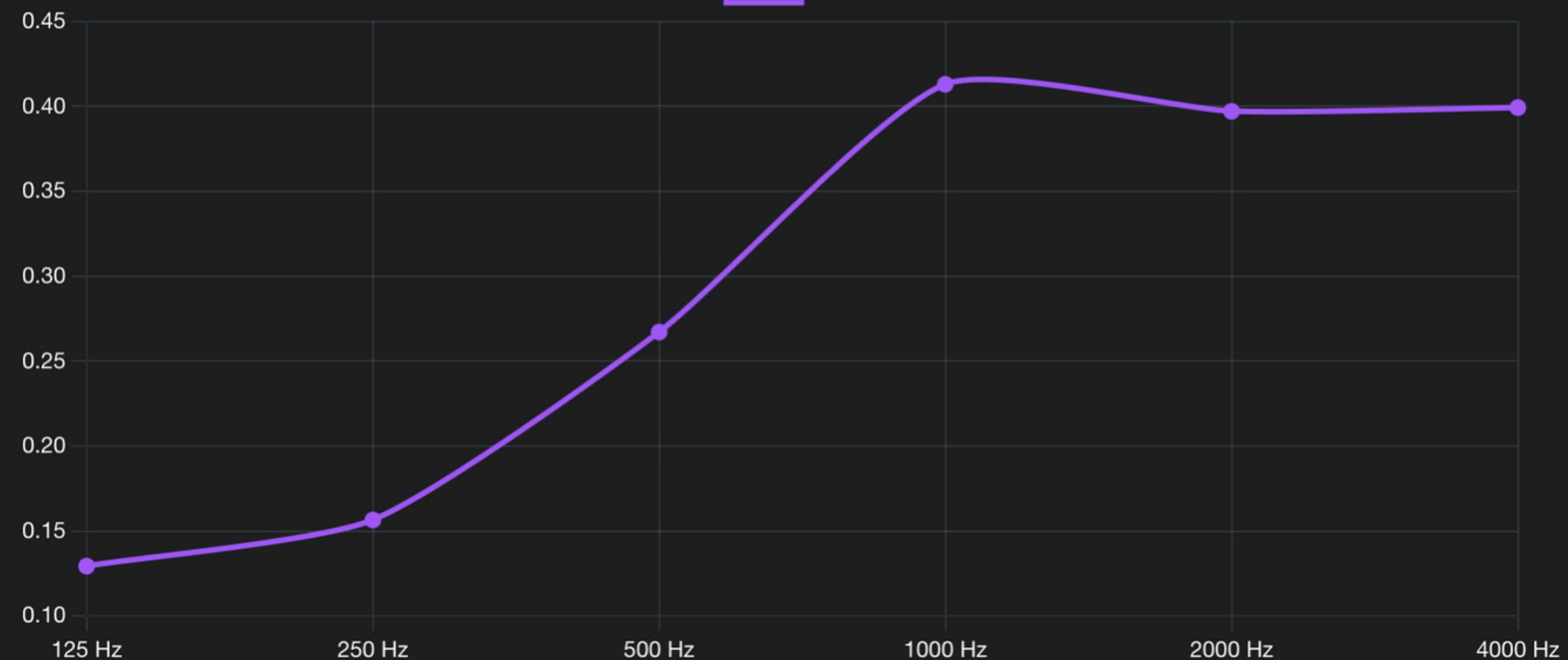
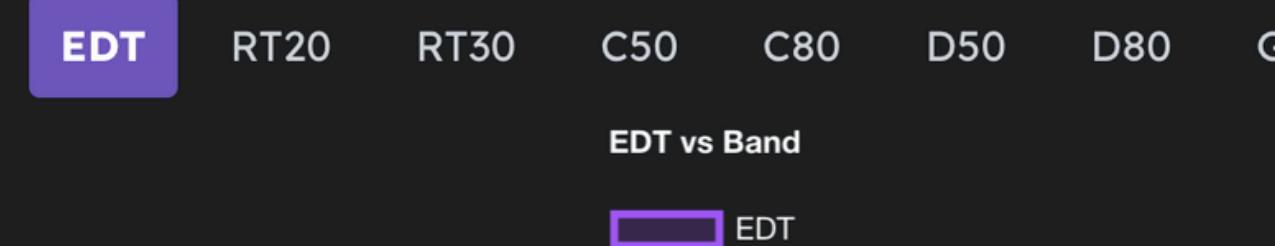
Desired RT: 0.35s

Initial RT: 0.28s

Final RT: 0.29s

Room Volume: 63.7  
m<sup>3</sup>

Date: 23/6/2025,  
5:59:43 p.m.



Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

## Last Treatment

Date: 26/6/2025, 8:52:23 p.m. RT Value: 0.2792331613654677

## Connection Status

Connected

# Manual Control

Telemetry  OFF

**Motor 1**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 2**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 3**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 4**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 5**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 6**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 7**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 8**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

**Motor 9**

● Unavailable

Setpoint

Set

PID Config

Stop

The screenshot shows a control interface with a dark theme. On the left, a sidebar lists navigation options: Current Reading, New Treatment, History, Manual Control (selected), and Control Graphics. The main area has a header "Last Treatment" with the date "26/6/2025, 8:52:23 p.m." and RT Value "0.2792331613654677". A "Connection Status" section indicates "Connected". A central modal dialog titled "Configure Motor 1 PID" contains fields for Proportional Gain (Kp) set to 41, Integral Gain (Ki) set to 1, Derivative Gain (Kd) set to 1.4, Velocity Gain (Kv) set to 1.55, and Acceleration Gain (Ka) set to 0.9. Buttons at the bottom include "Cancel", "Save PID Configuration" (highlighted in purple), and "Stop". In the background, there are sections for "Manual Control" (Motor 1, 4, 7) and "Control Graphics" (Motor 3, 6, 9). Each motor section includes "Setpoint" and "PID Config" buttons, and a "Stop" button below the modal. A "Telemetry" toggle switch is shown as "OFF".

Last Treatment

Date: 26/6/2025, 8:52:23 p.m. RT Value: 0.2792331613654677

Connection Status

Connected

Telemetry OFF

Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

Configure Motor 1 PID

Proportional Gain (Kp): 41

Integral Gain (Ki): 1

Derivative Gain (Kd): 1.4

Velocity Gain (Kv): 1.55

Acceleration Gain (Ka): 0.9

Cancel Save PID Configuration Stop

Motor 1 Setpoint PID Config

Motor 4 Setpoint PID Config

Motor 7 Setpoint PID Config

Motor 3 Setpoint PID Config

Motor 6 Setpoint PID Config

Motor 9 Setpoint PID Config

Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

## Last Treatment

Date: 26/6/2025, 8:52:23 p.m. RT Value: 0.2792331613654677

## Connection Status

Connected

# Control Graphics

### Select Motors

Motor 1 Motor 2 Motor 3 Motor 4 Motor 5 Motor 6 Motor 7 Motor 8 Motor 9

No motors selected

Search

Clear

### Motor 9

Started: Jun 17, 2025 14:02:17

Finished: Jun 17, 2025 14:02:23

Duration: 5.99 seconds

PID Values: Kp=50.00, Ki=10.00, Kd=1.40



### Motor 9

Started: Jun 17, 2025 14:01:38

Finished: Jun 17, 2025 14:01:43

Duration: 5.42 seconds

PID Values: Kp=50.00, Ki=10.00, Kd=1.80



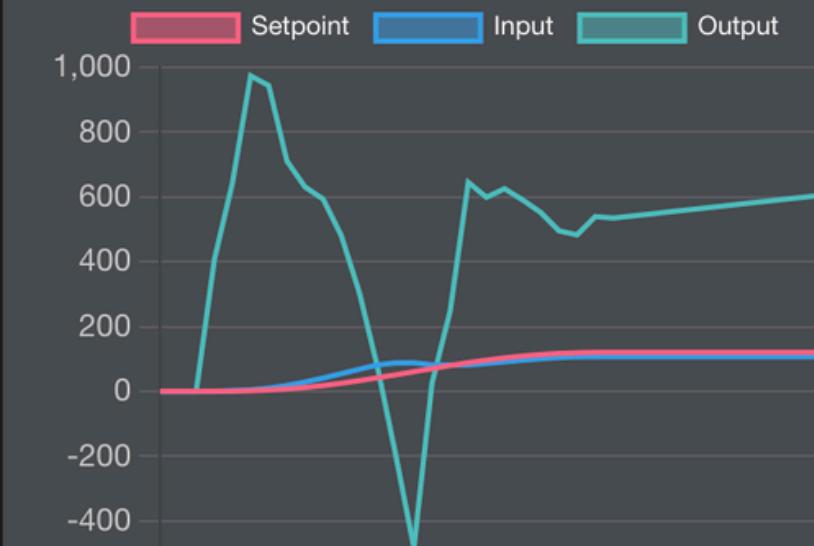
### Motor 9

Started: Jun 17, 2025 14:00:55

Finished: Jun 17, 2025 14:01:01

Duration: 6.04 seconds

PID Values: Kp=50.00, Ki=10.00, Kd=1.80



Current Reading

New Treatment

History

Manual Control

Control Graphics

## Last Treatment

Date: 26/6/2025, 8:52:23 p.m. RT Value: 0.2792331613654677

## Connection Status

Connected

### Motor 9

Device ID: NODEMCU\_05

Motor ID: 2

Started: Jun 17, 2025 14:02:17

Finished: Jun 17, 2025 14:02:23

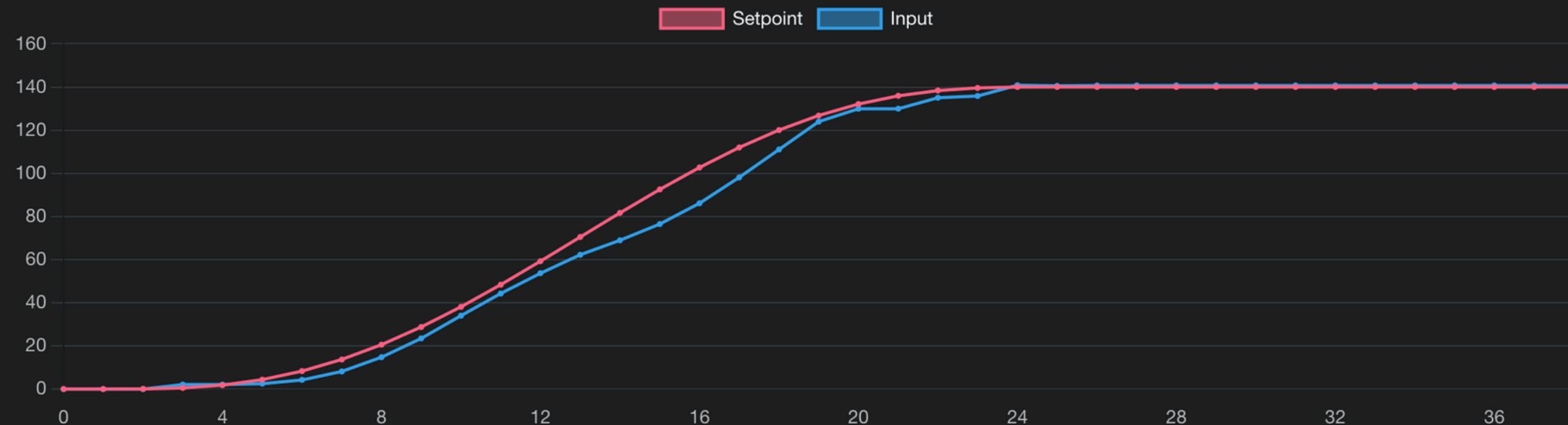
#### PID Configuration:

- Kp: 50.00
- Ki: 10.00
- Kd: 1.40
- Kv: 1.80
- Ka: 0.90

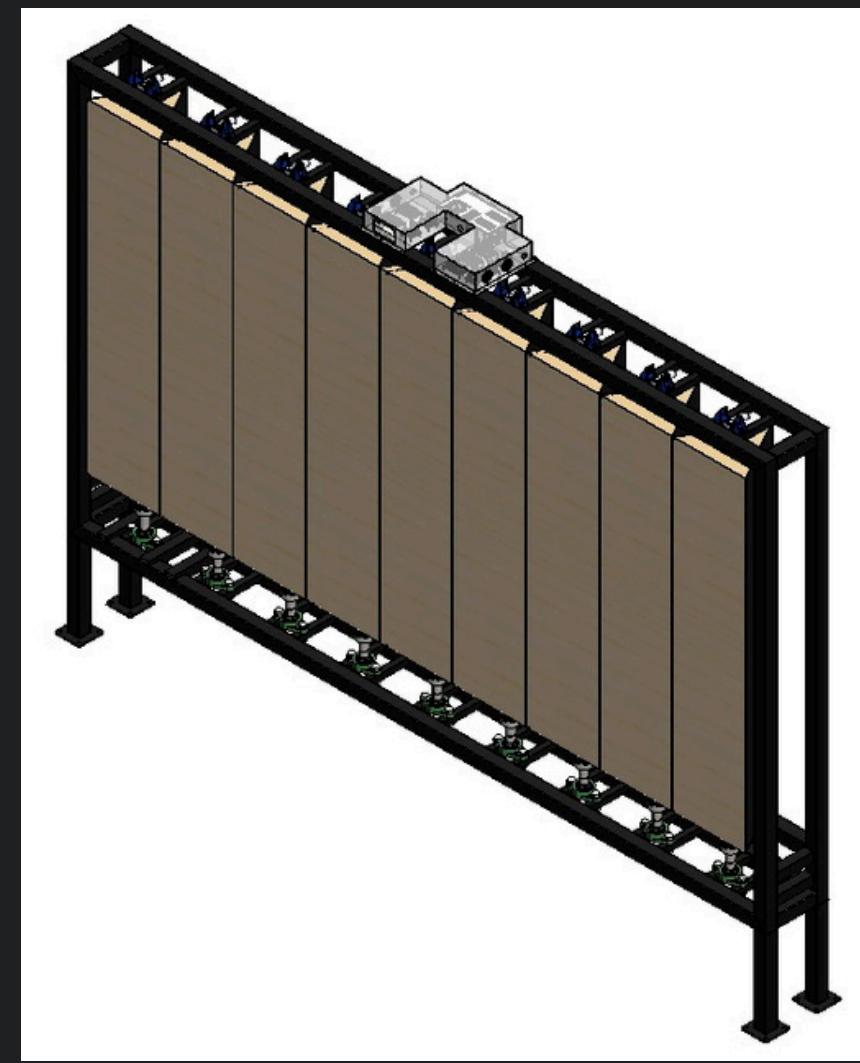
Data Points: 39

Duration: 5.99 seconds

#### Setpoint and Input



# Integración



# Análisis de resultados

# Banco de pruebas



# Banco de pruebas

<b>Banda de frecuencia (Hz)</b>	<b>Sonómetro RT60 (s)</b>
125	0.295
250	0.273
500	0.203
1000	0.158
2000	0.130
4000	0.113

Tabla 114: Tiempos de reverberación medidos (Paneles absorbentes)

<b>Banda de frecuencia (Hz)</b>	<b>Sonómetro RT60 (s)</b>
125	0.332
250	0.278
500	0.202
1000	0.172
2000	0.138
4000	0.125

Tabla 115: Tiempos de reverberación medidos (Paneles reflectantes)

# Banco de pruebas

Banda de frecuencia (Hz)	Sonómetro Diferencia RT60 (s)
125	0.0367
250	0.0050
500	-0.0017
1000	0.0133
2000	0.0083
4000	0.0117

Tabla 116: Diferencia en tiempos de reverberación medidos

$$A = \frac{0.161V}{RT}$$

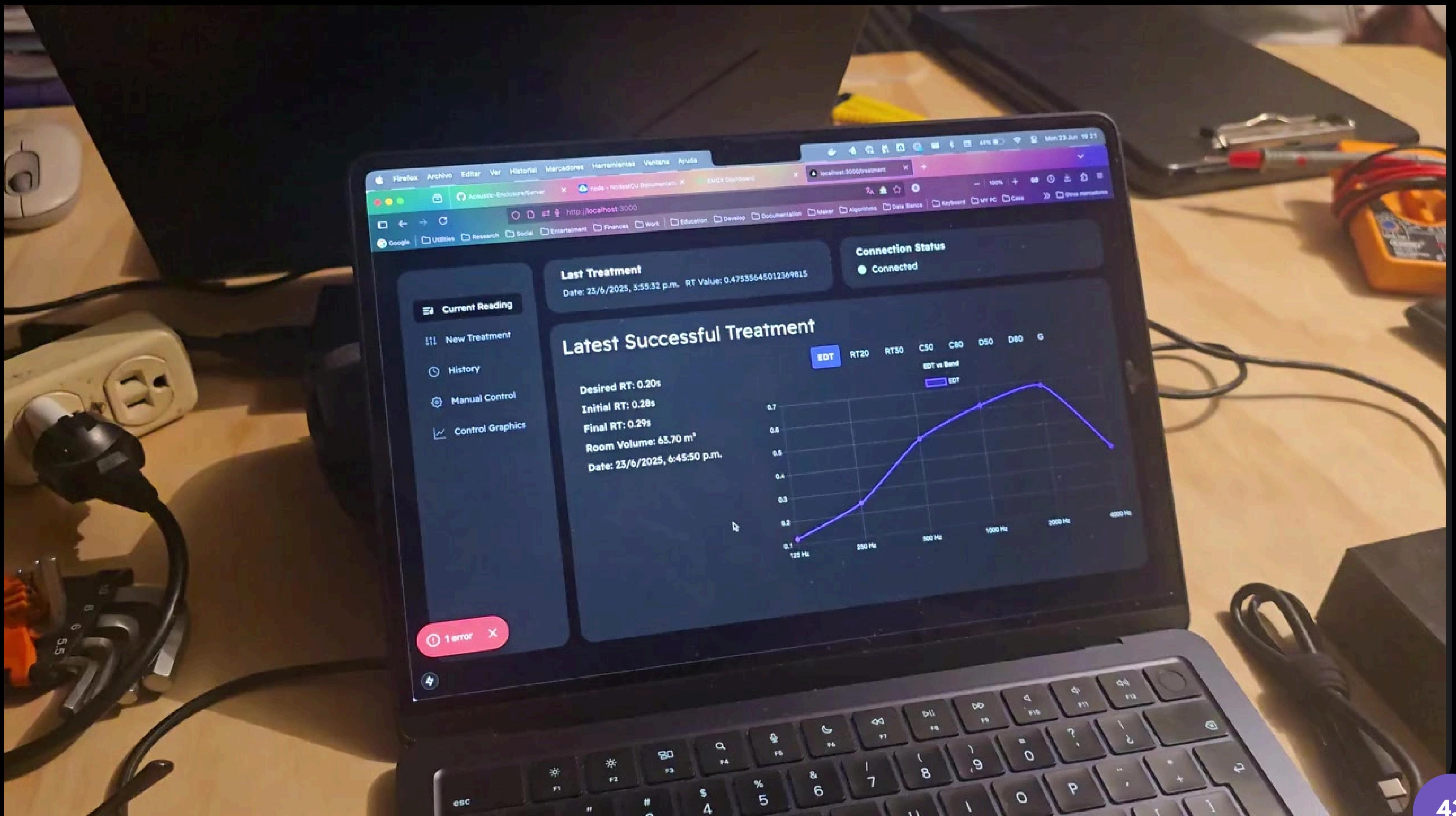
$$A_{ref} = 62.99 \text{ sabines}$$

$$\Delta A = 5.69 \text{ sabines}$$

$$\Delta A = S(-\ln(1 - \Delta\alpha))$$

$$\Delta\alpha = 0.79$$

# Orquestación



# Conclusiones

# Conclusiones

Se logró tener un efecto en la acústica del estudio de audio, pequeño pero medible y alineado con la teoría.

Se cumplió con el objetivo del proyecto aun si los resultados no estaban en los rangos esperados.

# Trabajo a futuro

# Trabajo a futuro

- Exploración de prismas cuadrados de mayores dimensiones, más separados entre sí o con un sistema de separación.
- Replicación del sistema para más superficie efectiva.
- Uso de sistemas de medición más sensibles y robustos.
- Sistema de movimiento con más potencia y retroalimentación de posición en el prisma.

# ¡Gracias!

<https://github.com/orgs/Acoustic-Enclosure/repositories>