

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE UN ESTUDIO DE AUDIO POR MEDIO DEL MOVIMIENTO DE PÁNELES AÚSTICOS

Instituto Politecnico Nacional
Unidad Profesional
Interdisciplinaria en Ingeniería y
Tecnologías Avanzadas
Trabajo Terminal 1



Integrantes:

- **Barbosa Mercado José Aarón**
- **Camarena Rodriguez Alberto**
- **Muñoz Ceballos Teddy Xavier**
- **Sanchez Trujillo Daniel**

Asesores:

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

Contenidos

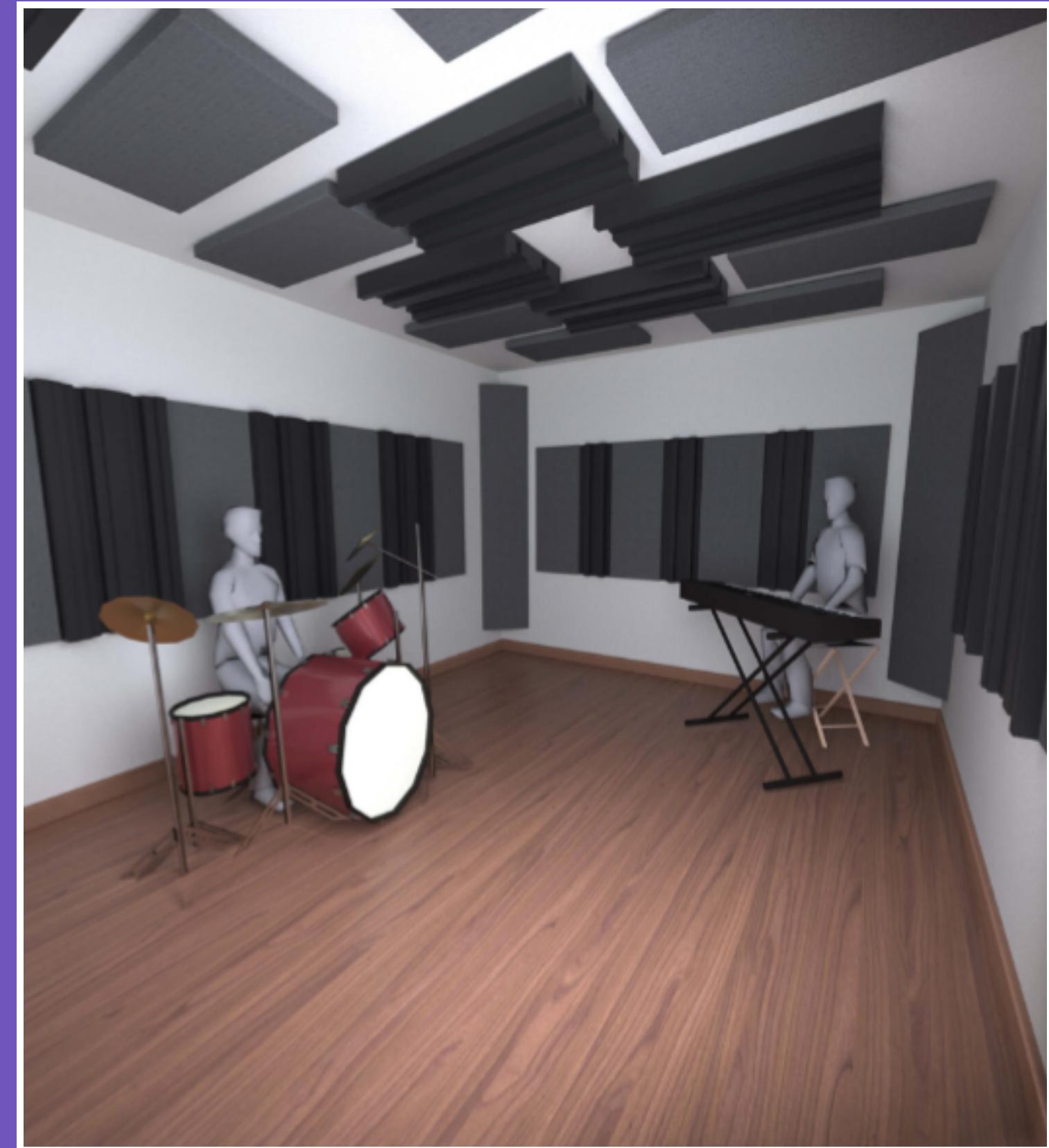
Introducción.....	3
Justificación.....	5
Planteamiento del problema.....	8
Antecedentes	10
Objetivos.....	11
Metodología	16
Arquitectura funcional.....	17
Arquitectura física.....	18
Propuesta de solución	19
Desarrollo de la propuesta	22
Escenario de pruebas.....	25
MF3. Módulo de modificación de la acústica.....	26

MF2. Módulo de generación y medición de la acústica.....	39
MF1.1. Procesamiento de la respuesta y cálculo de la acústica.....	45
MF1.2. Procesamiento de la estrategia de control y posiciones de los paneles.....	56
MF1.3. Interacciones del sistema.....	67
MF4. Módulo de interfaz de usuario	71
MF5. Módulo gestor de energía.....	79
Conclusiones.....	91
Trabajo a futuro	95

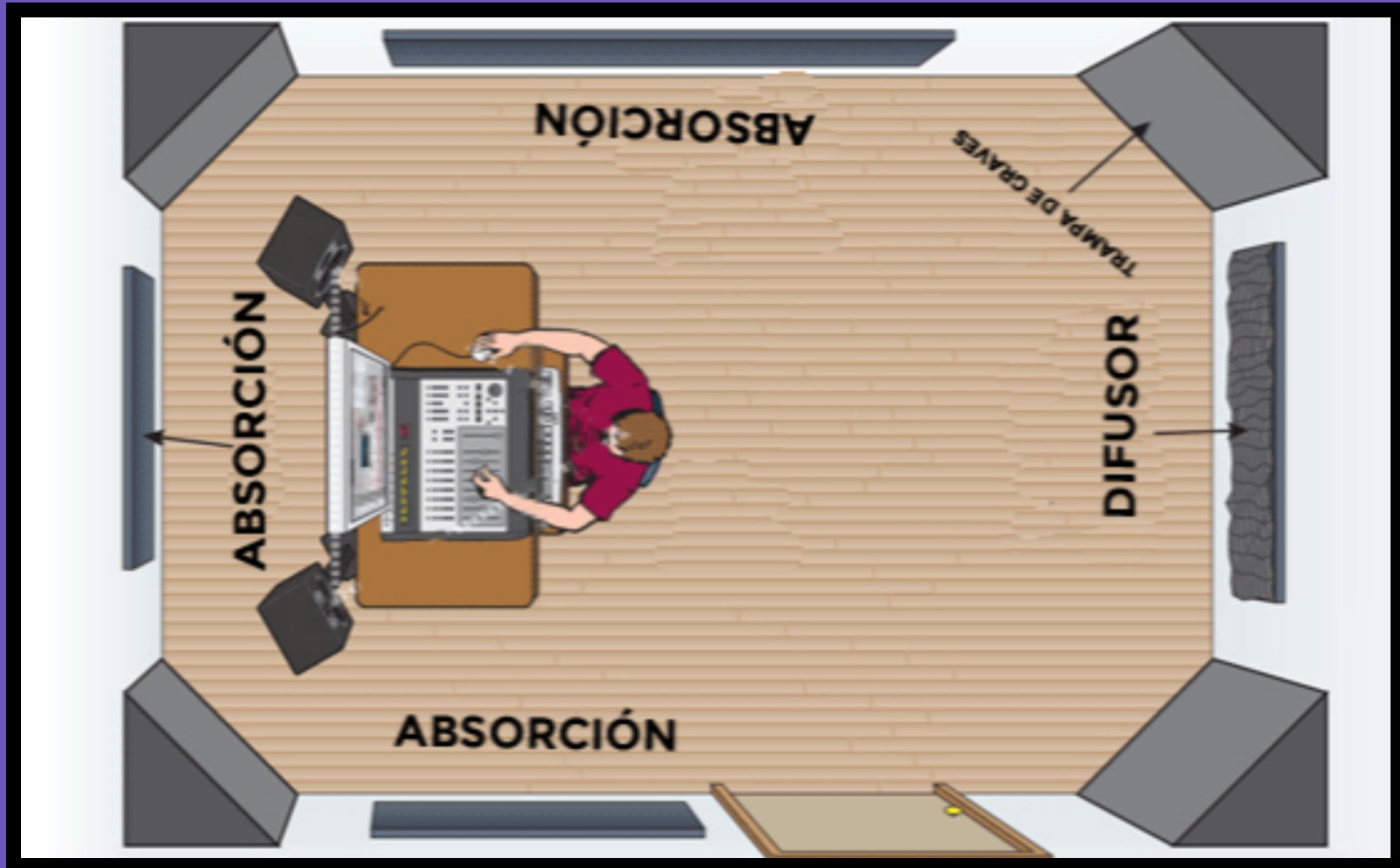
Introducción

ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Mejora la calidad del sonido en un espacio, modificando parámetros como la reverberación y el eco, y asegurando una mejor claridad y comprensión del audio.

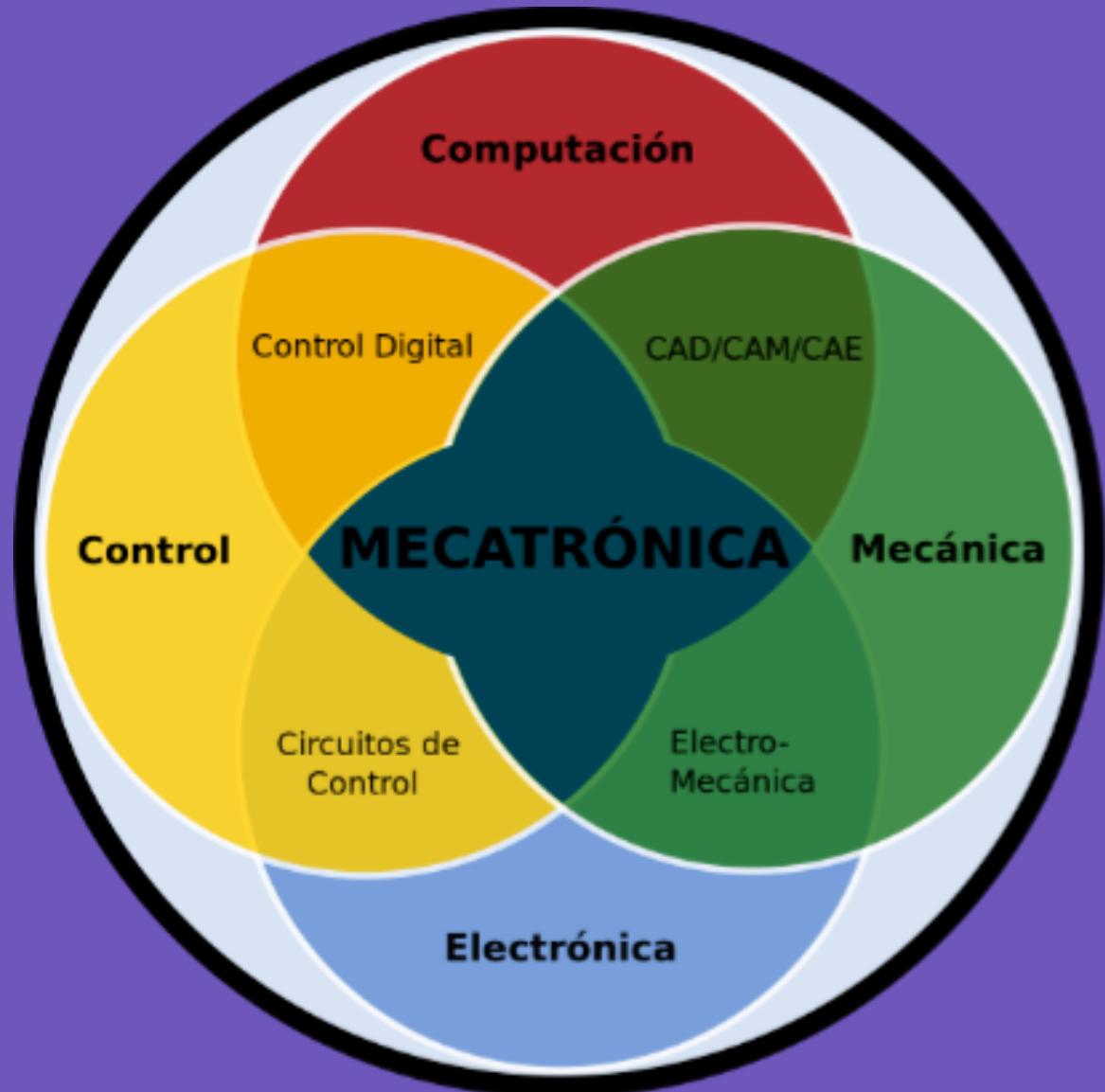


Justificación



Ethan Winer advierte en su libro “The Audio Expert” que por más que se inviertan miles o millones de dólares en los equipos más precisos y de alta calidad, con un pobre tratamiento acústico del cuarto en que estos operen, no serán capaces de alcanzar su máximo potencial.

Planteamiento del problema



La falta de un sistema automático que controle las variables acústicas

Un sistema que sirva para dar solución a este problema solo es posible gracias a la sinergia de la mecánica, para las piezas físicas que se moverán, la electrónica, para todas las señales que se tiene medir, el control, que permitir á la regulación del comportamiento y la computación para una interfaz moderna y fácilmente operable por el usuario.



Mantilla, O. - Diseño y construcción de un prototipo de panel acústico variable rotatorio de 360° con control automático. (P.A.V.R) – Universidad SanBuenaventura 2014



Resonant Chamber – RVTR - University of Michigan 2011-2013

Objetivos

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 TT1

Diseñar un módulo de medición de la respuesta del estudio de audio ante un barrido senoidal a distintas frecuencias para caracterizar su acústica.

Calcular el tiempo de decaimiento temprano (EDT), tiempo de reverberación (T20 y T30), claridad (C50 y C80), definición (D50) y fuerza del sonido (G), a partir de la respuesta del estudio.

Verificar la existencia de ondas estacionarias en el estudio de audio mediante el uso de las dimensiones del estudio de audio para su tratamiento.

Objetivos TT1

Diseñar 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.

Objetivos TT1

Creación de relaciones entre las posiciones de los paneles y la acústica del cuarto mediante algoritmos de aprendizaje de máquina para el control preciso de la acústica mediante el control de posición de los paneles.

Validar los valores de los parámetros acústicos mediante simulaciones para comprobar los algoritmos de relación entre posición y acústica.

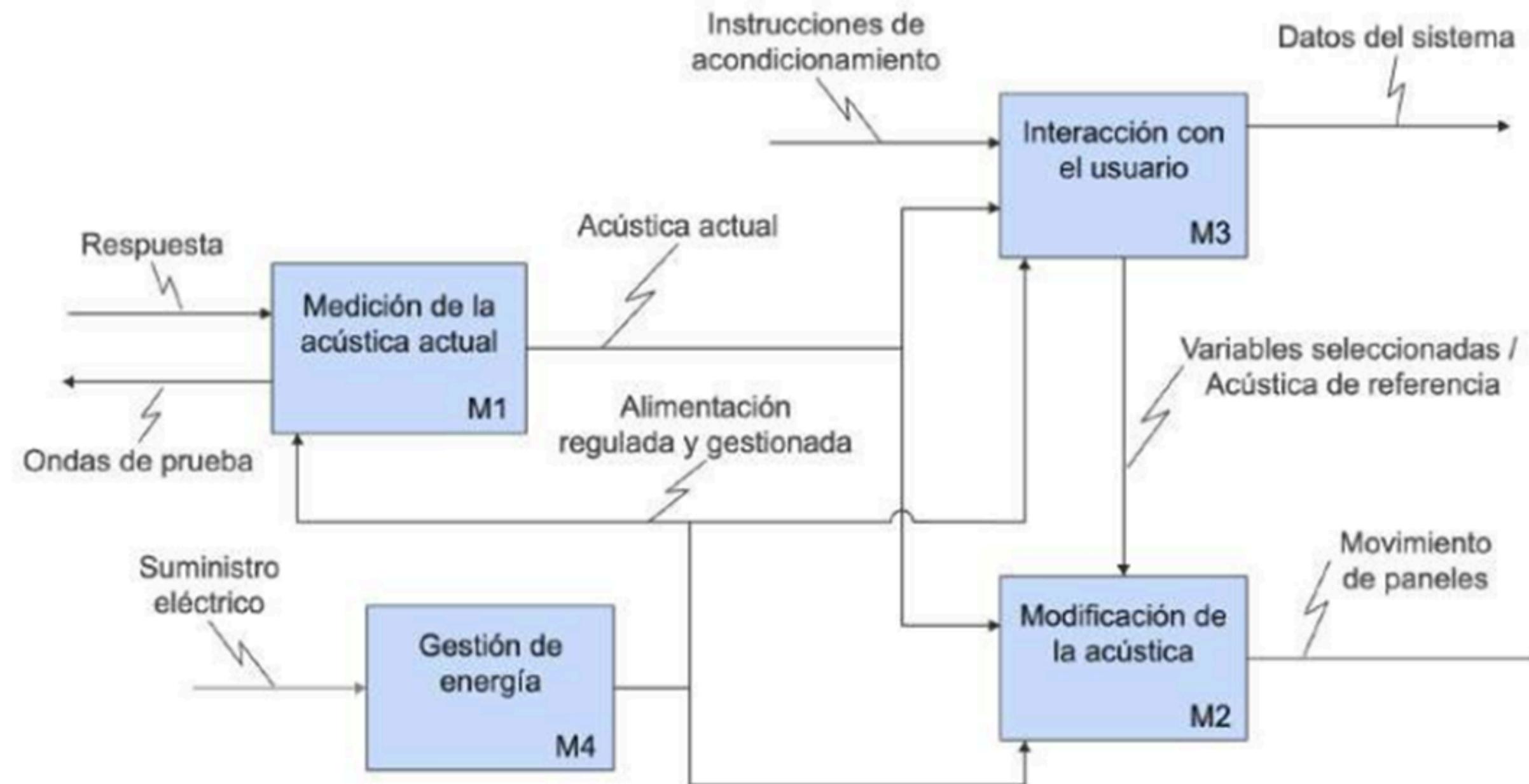
Validar la modificación de la acústica mediante simulaciones para comprobar el correcto tratamiento acústico.

Necesidades (VDI)

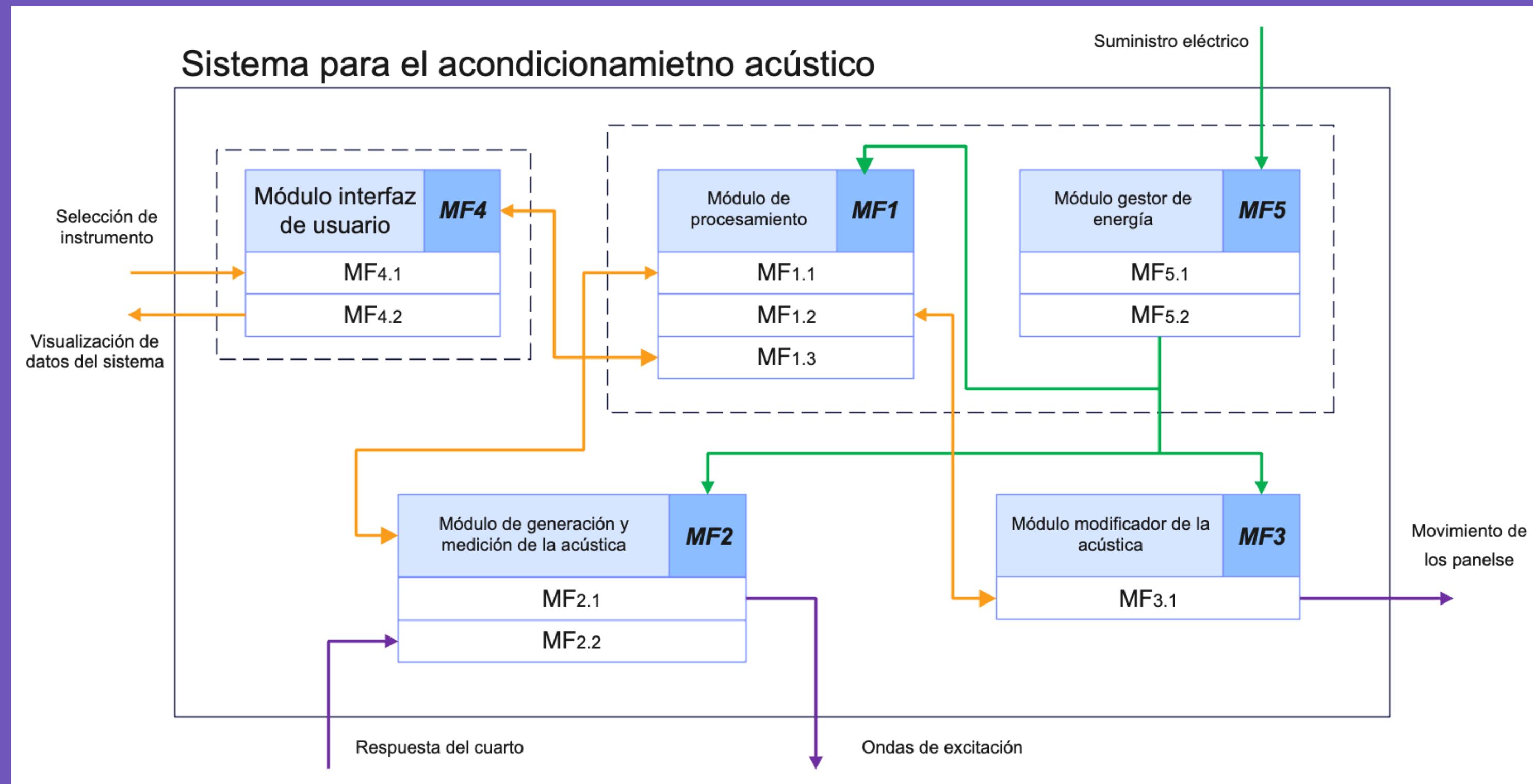
ID	Necesidades	Clasificación
N1	Medición de la acústica	Funcional
N2	Movimiento de paneles	Funcional
N3	Modificación de la acústica	Funcional
N4	Repetibilidad en acondicionamiento acústico	Funcional
N5	Fiabilidad en acondicionamiento acústico	Funcional
N6	Ingreso de datos por medio de interfaz de usuario	Funcional
N7	Control local de la posición de los paneles	Funcional
N8	Instalación posible en paredes	Funcional
N9	Hacer acondicionamiento a partir de tipo de instrumento a grabar	Funcional
N10	Condiciones de operación propias de un estudio de audio	No funcional
N11	No requerimiento de conocimientos en acondicionamiento acústico para la operación	No funcional
N12	Despliegue de información por medio de interfaz	No funcional

Arquitectura funcional

Sistema para el acondicionamiento acústico



Arquitectura física



Propuestas de solución

Cr1 Velocidad de actuación

Cr2 Peso

Cr3 Complejidad del mecanismo

Cr4 Cantidad de actuadores

Cr12 Confiabilidad del sistema de actuación

**Cr24 Facilidad para saltar entre
disposiciones**

Cr27 Cantidad de paneles utilizados

	Características	<i>CS₁</i>	<i>CS₂</i>	<i>CS₃</i>	<i>CS₄</i>
<i>C₁</i>	Forma de movimiento de los paneles	Rotacional en base prismática	Tipo pick and place	Construcción y movimiento de líneas	Paneles en configuración plegable
<i>C₂</i>	Tipo de actuación	Con motor y acopladores magnéticos	Con motor y actuador magnético	Con motores	Motores lineales
<i>C₃</i>	Sensado de las posiciones de los paneles	Encoders, sensores de contacto o visión artificial	Encoders o visión artificial	Encoders	Sensores de flexión
<i>C₄</i>	Posicionamiento de paneles	Anclados a la base prismática	Acoplamiento en pared	Acoplado a un cable	Acoplados entre si
<i>C₅</i>	Sistema de alimentación de paneles	No	Si	Si	No

**Conceptos
Solución**

	CS_1	CS_2	CS_3	CS_4
CS_1	1	1.60	2	0.89
CS_2	0.63	1	1.25	0.56
CS_3	0.50	0.80	1	0.44
CS_4	1.13	1.80	2.25	1

Tabla 30: Matriz de comparación de Cr_{11}

	CS_1	CS_2	CS_3	CS_4	$V_{Cr_{11}}$
CS_1	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
CS_2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
CS_3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
CS_4	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Tabla 31: Matriz normalizada de Cr_{11} y $V_{Cr_{11}}$

	CS_1	CS_2	CS_3	CS_4
CS_1	1	5	5	2.50
CS_2	0.20	1	1	0.50
CS_3	0.20	1	1	0.50
CS_4	0.40	2	2	1

Tabla 32: Matriz de comparación de Cr_{12}

	CS_1	CS_2	CS_3	CS_4	$V_{Cr_{12}}$
CS_1	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
CS_2	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
CS_3	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
CS_4	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

Tabla 33: Matriz normalizada de Cr_{12} y $V_{Cr_{12}}$

Evaluación de criterios independientes

	Alt_1	Alt_2	Alt_3	Alt_4
Alt_1	1	1	2.67	1.33
Alt_2	1	1	2.67	1.33
Alt_3	0.38	0.38	1	0.50
Alt_4	0.75	0.75	2	1

Tabla 50: Matriz de comparación de C_3

	Alt_1	Alt_2	Alt_3	Alt_4
Alt_1	1	0.50	1.67	-
Alt_2	2	1	3.33	-
Alt_3	0.60	0.30	1	-
Alt_4	-	-	-	-

Tabla 52: Matriz de comparación de C_4

Evaluación por medio de criterios

	Alt_1	Alt_2	Alt_3	Alt_4	V_{C_3}
Alt_1	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Alt_2	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Alt_3	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Alt_4	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

Tabla 51: Matriz normalizada de C_3 y V_{C_3}

	Alt_1	Alt_2	Alt_3	Alt_4	V_{C_4}
Alt_1	0.28	0.28	0.28	-	0.28
Alt_2	0.56	0.56	0.56	-	0.56
Alt_3	0.17	0.17	0.17	-	0.17
Alt_4	-	-	-	-	-

Tabla 53: Matriz normalizada de C_4 y V_{C_4}

	Cr_1	Cr_2	Cr_3	Cr_4	Cr_5	Cr_6	Cr_7	Cr_8	Cr_9	Cr_{10}	Cr_{11}	Cr_{12}	Cr_{13}	Cr_{14}	Cr_{15}	Cr_{16}	Cr_{17}	Cr_{18}	Cr_{19}	Cr_{20}	Cr_{21}	Cr_{22}	Cr_{23}	Cr_{24}	Cr_{25}	Cr_{26}	Cr_{27}			
Cr_1	1	5	0.75	3	3	1	3	5	10	5	3	0.20	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33		
Cr_2	0.20	1	6.67	1.67	1.67	5	1.67	1	0.50	1	1.67	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.20		
Cr_3	1.33	0.15	1	0.25	0.25	0.75	0.25	0.15	0.08	0.15	0.33	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60		
Cr_4	0.33	0.60	4	1	1	3	1	0.60	0.30	0.60	1.33	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
Cr_5	0.33	0.60	4	1	1	3	1	0.60	0.30	0.60	1.33	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		
Cr_6	1	0.20	1.33	0.33	0.33	1	0.33	0.20	0.10	0.20	0.33	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_7	0.33	0.60	4	1	1	3	1	0.60	0.30	0.60	1.33	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
Cr_8	0.20	1	6.67	1.67	1.67	5	1.67	1	0.50	1	1.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_9	0.10	2	13.33	3.33	3.33	10	3.33	2	1	2	1	3.33	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Cr_{10}	0.20	1	6.67	1.67	1.67	5	1.67	1	0.50	1	1.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_{11}	0.33	0.60	4	1	1	3	1	0.60	0.30	0.60	1.33	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
Cr_{12}	0.50	0.40	2.67	0.67	0.67	2	0.67	0.40	0.20	0.40	0.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_{13}	0.20	1	6.67	1.67	1.67	5	1.67	1	0.50	1	1.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_{14}	0.50	0.40	2.67	0.67	0.67	2	0.67	0.40	0.20	0.40	0.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_{21}	0.13	1.60	10.67	2.67	2.67	8	2.67	1.60	0.80	1.60	10.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	
Cr_{22}	0.50	0.40	2.67	0.67	0.67	2	0.67	0.40	0.20	0.40	0.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_{24}	1	0.20	1.33	0.33	0.33	1	0.33	0.20	0.10	0.20	1.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
Cr_{25}	0.20	1	6.67	1.67	1.67	5	1.67	1	0.50	1	1.67	0.60	0.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Cr_{27}	0.25	0.80	5.33	1.33	1.33	4	1.33	0.80	0.40	0.80	5.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	

• • •

Comparación de criterios

Evaluación general

	CS_1	CS_2	CS_3	CS_4	V_{Cr}
V_{Cr_1}	0.56	0.06	0.11	0.28	0.133
V_{Cr_2}	0.14	0.36	0.36	0.14	0.064
V_{Cr_3}	0.53	0.20	0.13	0.13	0.010
V_{Cr_4}	0.35	0.30	0.25	0.10	0.038
V_{Cr_5}	0.31	0.35	0.27	0.08	0.038
V_{Cr_6}	0.27	0.30	0.30	0.12	0.013
V_{Cr_7}	0.45	0.09	0.14	0.32	0.038
V_{Cr_8}	0.50	0.17	0.22	0.11	0.064
V_{Cr_9}	0.22	0.22	0.25	0.31	0.128
$V_{Cr_{10}}$	0.47	0.05	0.11	0.37	0.064
$V_{Cr_{11}}$	0.31	0.19	0.15	0.35	0.038
$V_{Cr_{12}}$	0.56	0.11	0.11	0.22	0.026
$V_{Cr_{13}}$	0.43	0.21	0.14	0.21	0.064
$V_{Cr_{14}}$	0.42	0.04	0.21	0.33	0.026
$V_{Cr_{21}}$	0.33	0.17	0.17	0.33	0.102
$V_{Cr_{22}}$	0.44	0.06	0.06	0.44	0.026
$V_{Cr_{24}}$	0.48	0.05	0.10	0.38	0.013
$V_{Cr_{25}}$	0.42	0.11	0.16	0.32	0.064
$V_{Cr_{27}}$	0.18	0.32	0.32	0.18	0.051
Total	0.376	0.174	0.191	0.259	1.000

Propuesta de solución



2 miembros estructurales

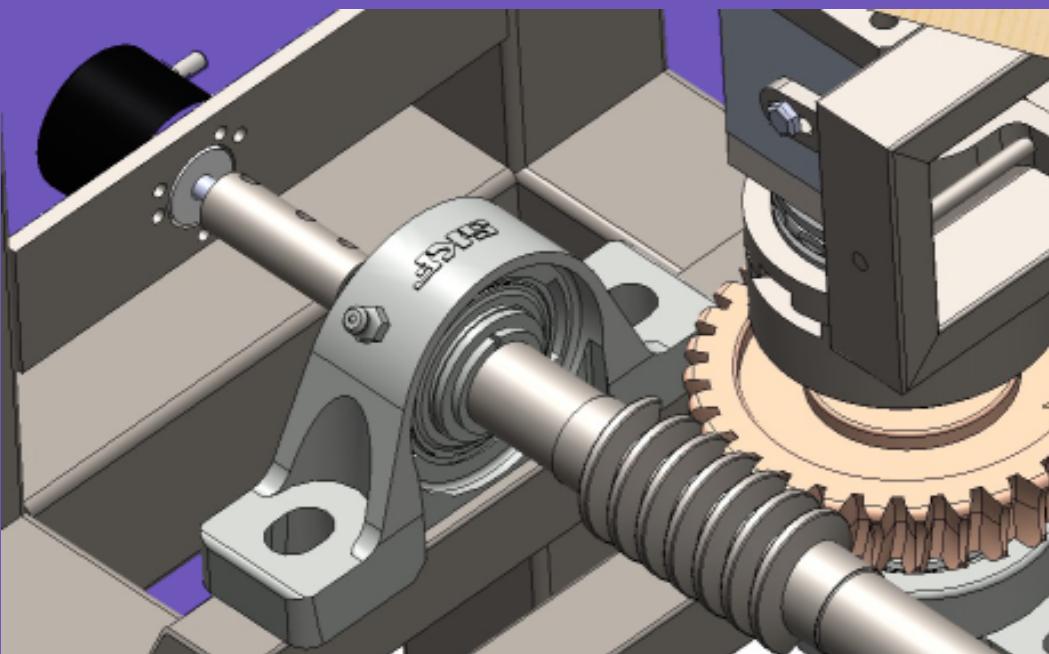
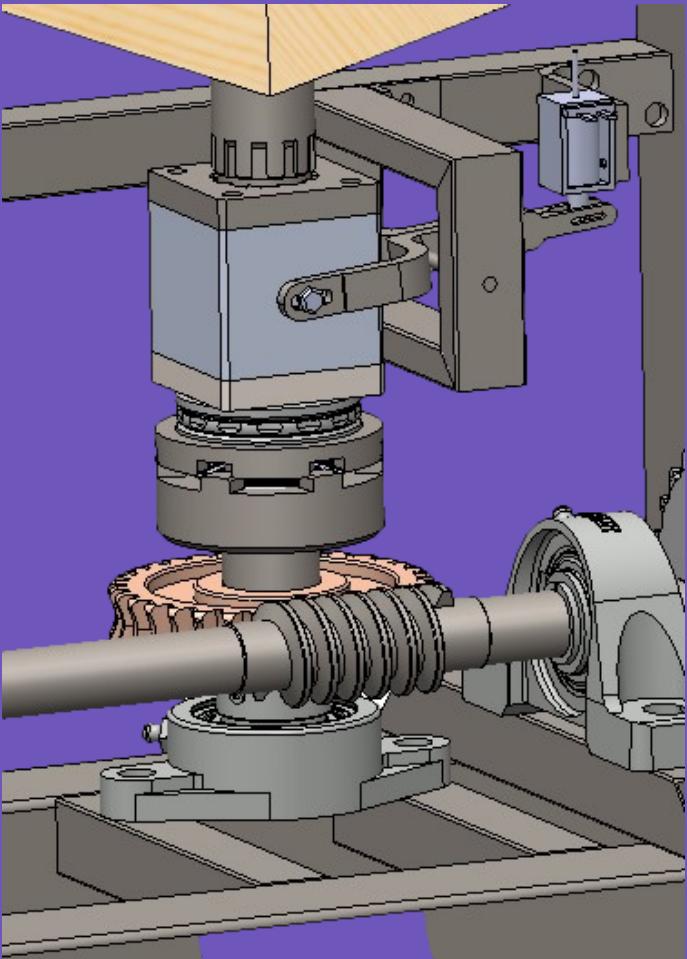
**Largo 2.86 m
Alto 2.15 m
Ancho 0.31 m**

9 bases prismáticas

**Ancho de cara 30 cm
Largo de cara 133 cm**

**Control mediante interfaz
en computadora**

Propuesta de solución



3 ejes con 3 segmentos de tornillo sinfín

Largo 90 cm

9 coronas

**Sistema de acoplamiento
Solenoides**

**Acoplador tipo estrella
Rodamiento lineal**

Sensado de la posición

Encoder rotativo incremental

Propuesta de solución



Absorción



Reflexión



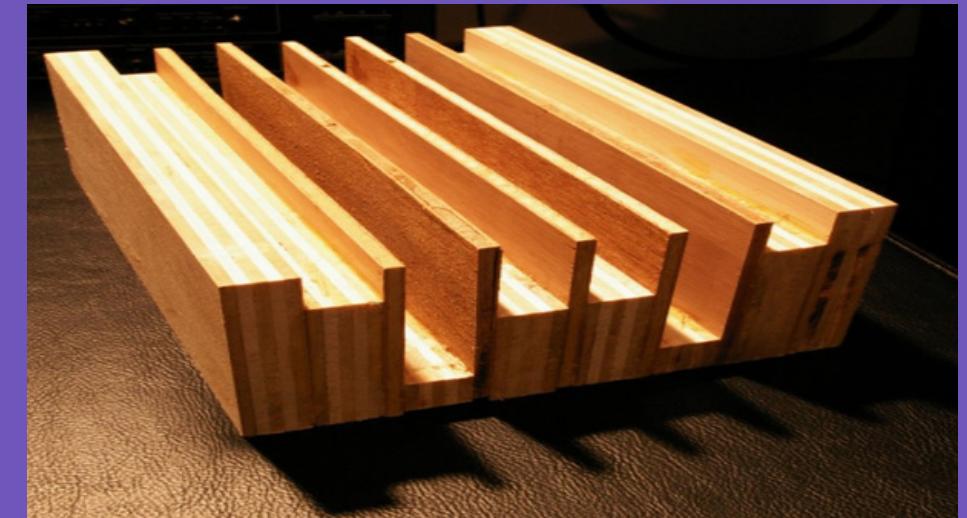
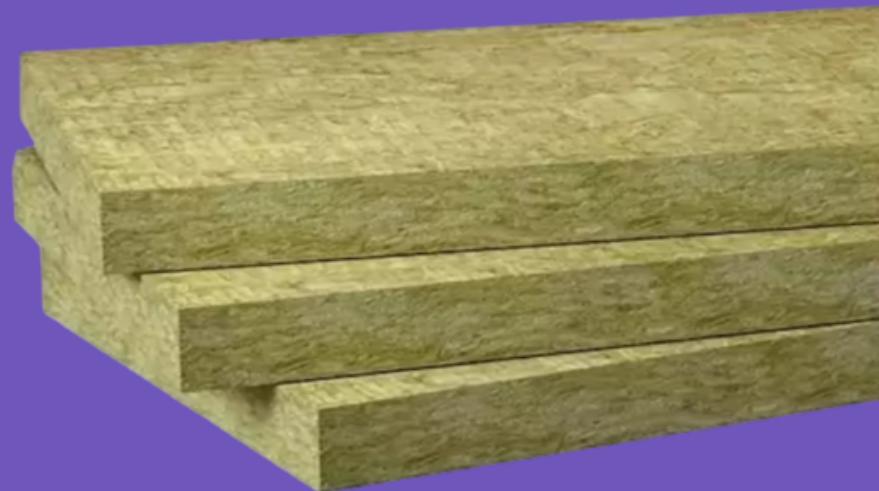
Difracción

Escenario de pruebas



MF3. Módulo modificador de la acústica

Páneles

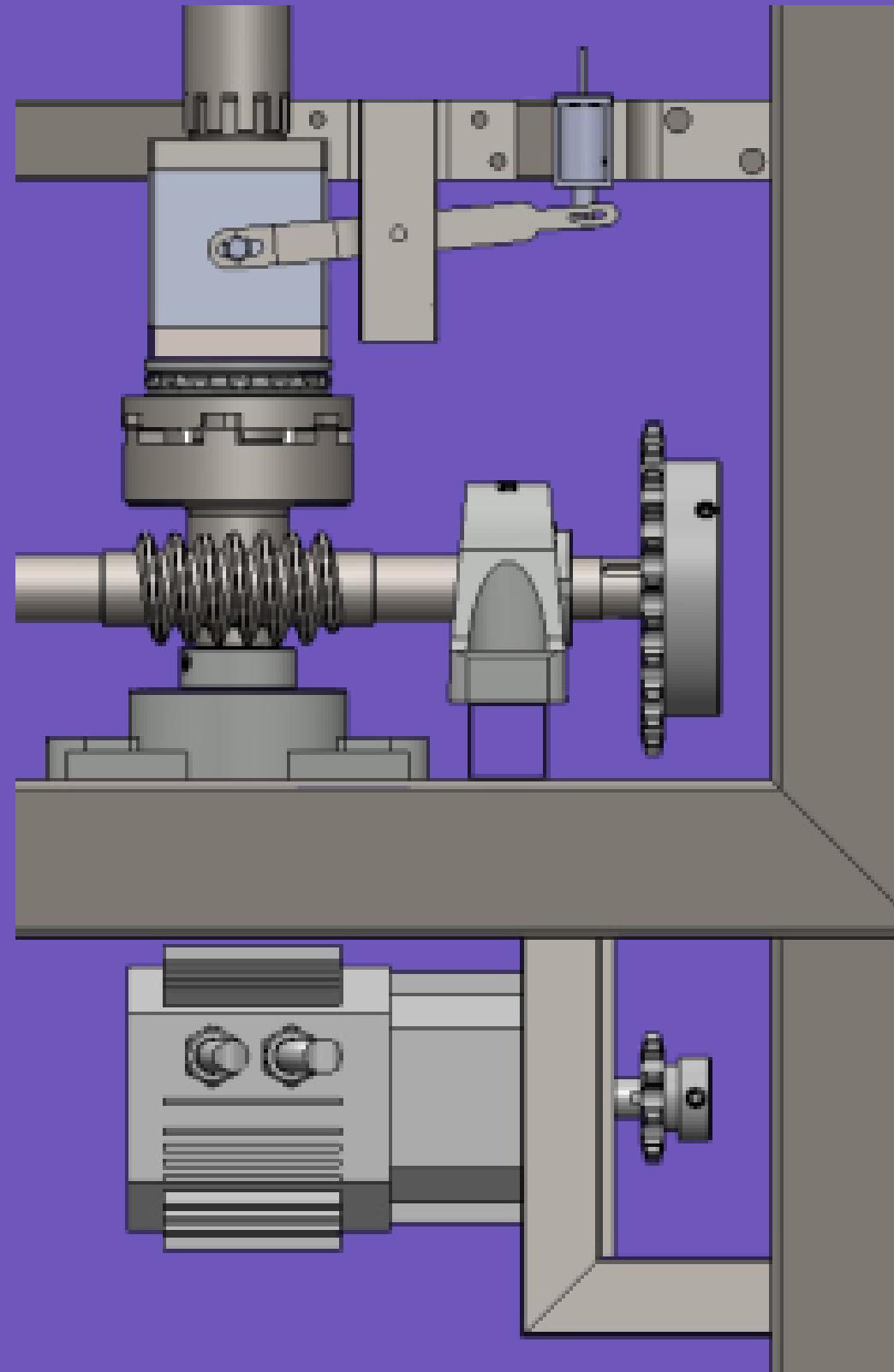


Páneles cubiertos de tela con núcleo de lana mineral de 6pcf

Madera contrachapada

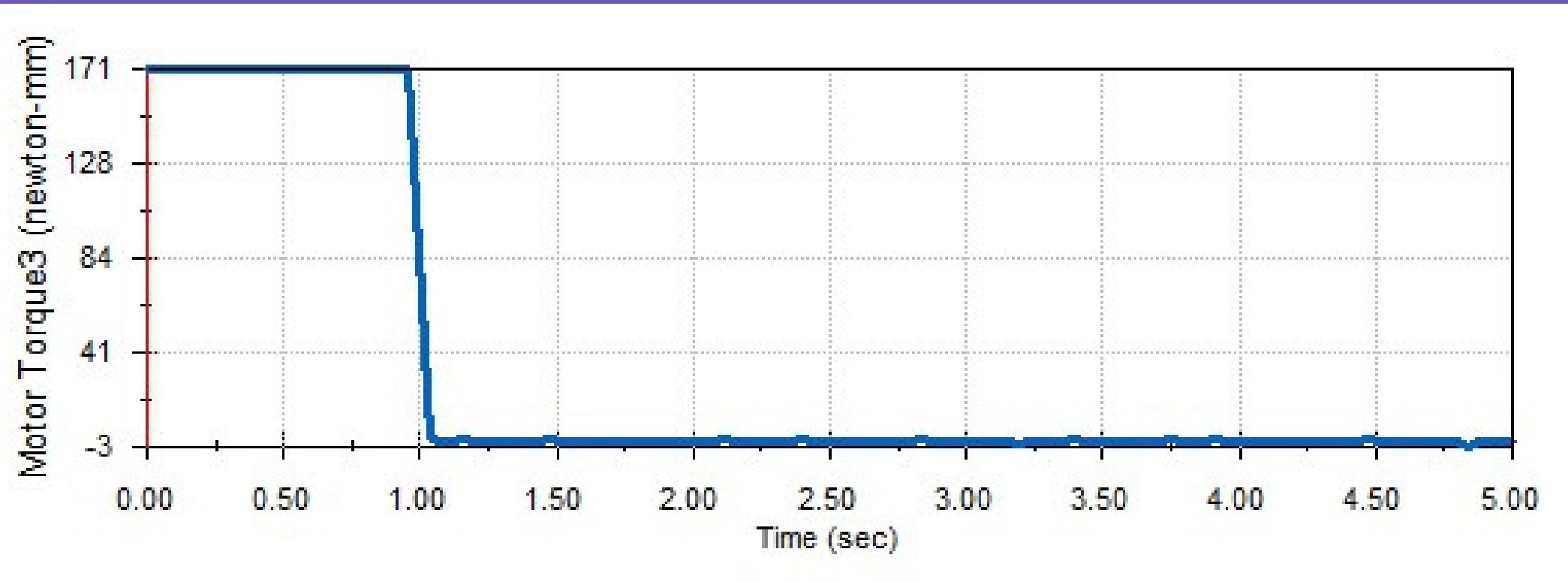
Difusores de residuos cuadráticos

Sistema de transmisión



Potencia del motor
Corona-sinfín
Eje del tornillo sinfín
Acoplador

Potencia del motor



Principio de D'Alembert

$$M_g = I \cdot \alpha$$

Potencia

$$P = M \cdot \omega$$

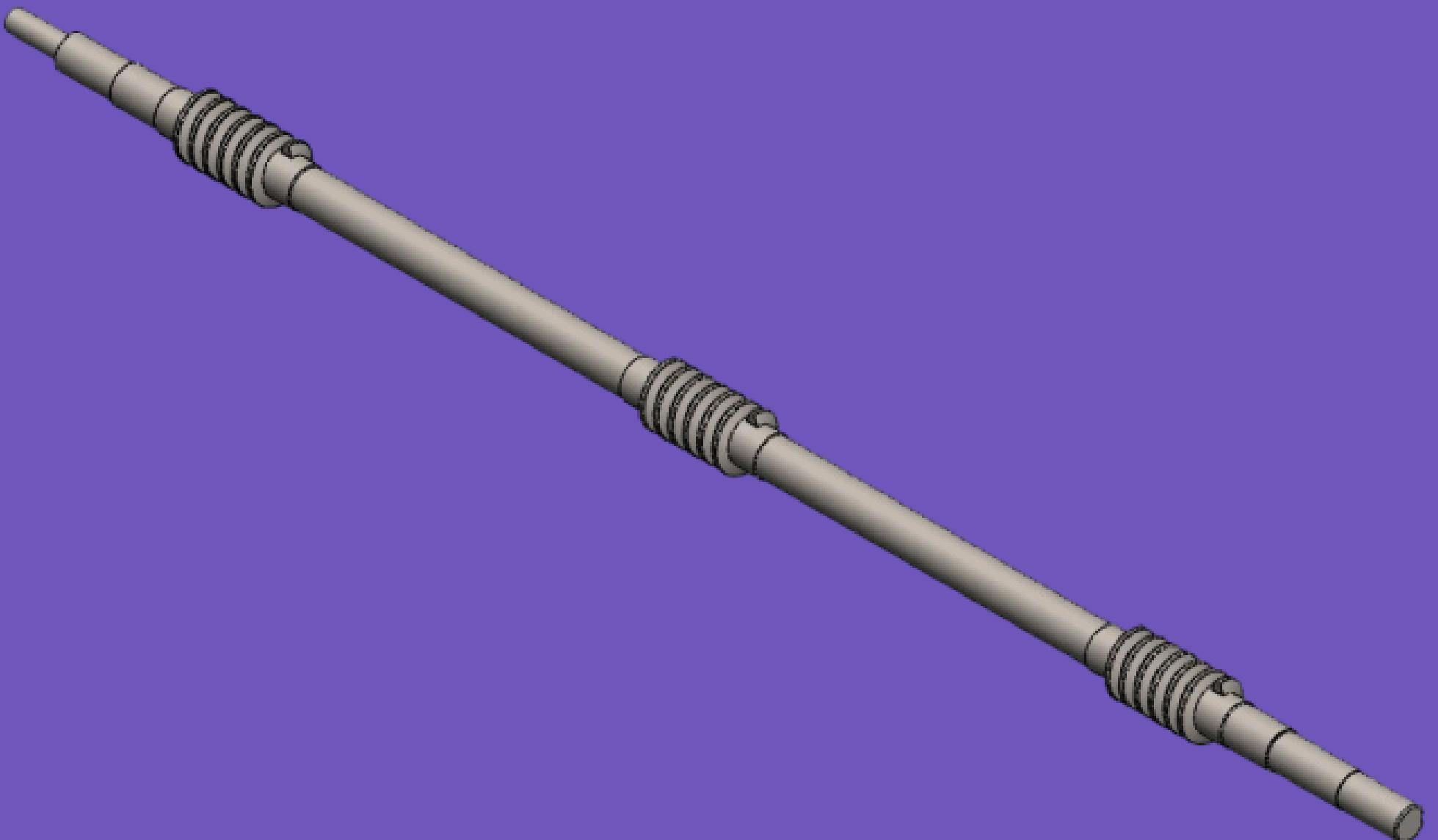
Torque total

$$T_{total} = 1,539 \text{ Nm.}$$

Potencia total

$$P = T \cdot \omega = 103,14 \text{ W}$$

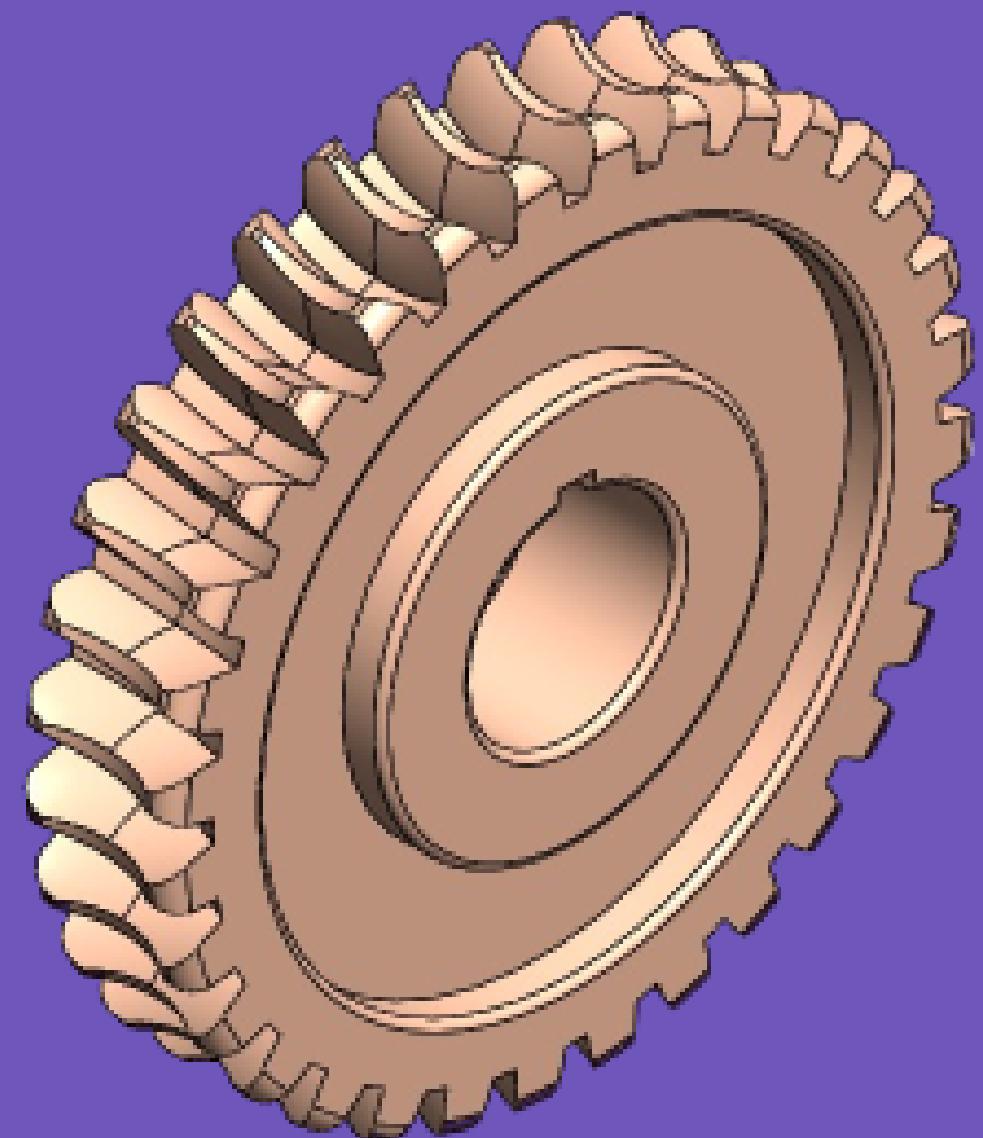
Corona-sinfín



Geometría del tornillo sinfín

Parámetros del tornillo sinfín	
Módulo	3
Número de entradas	1
Paso base	8.86 mm
Diámetro de paso	30 mm
Longitud de cara	64.82 mm
Avance	3π mm
Ángulo de presión	20°
Ángulo de avance	5.71°

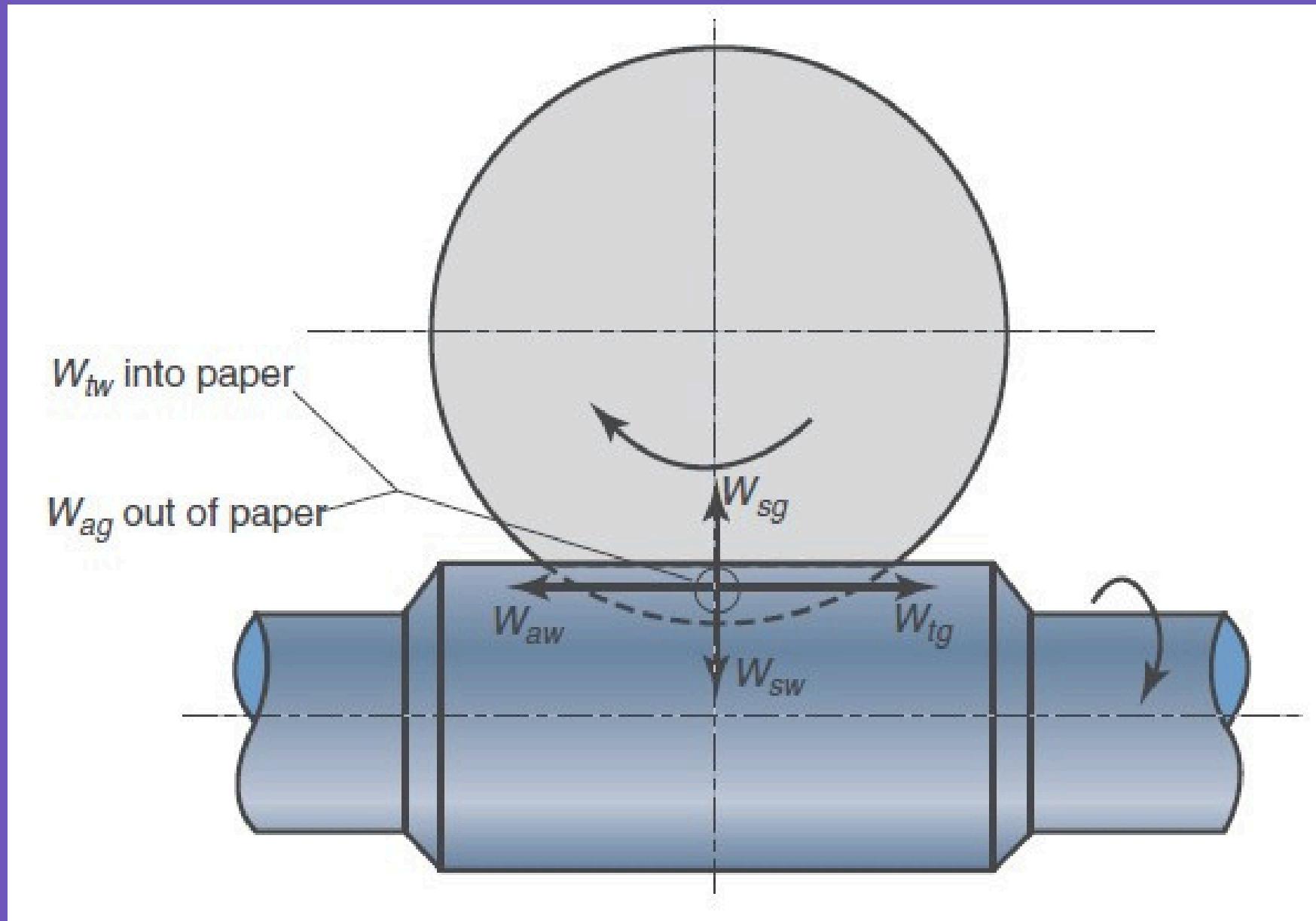
Corona-sinfín



Geometría de la corona

Parámetros de la corona	
Módulo	3
Número de dientes	32
Paso circular	$3\pi \text{ mm}$
Diámetro de paso	96 mm
Ancho de cara	20 mm
Ángulo de presión	20°

Corona-sinfín



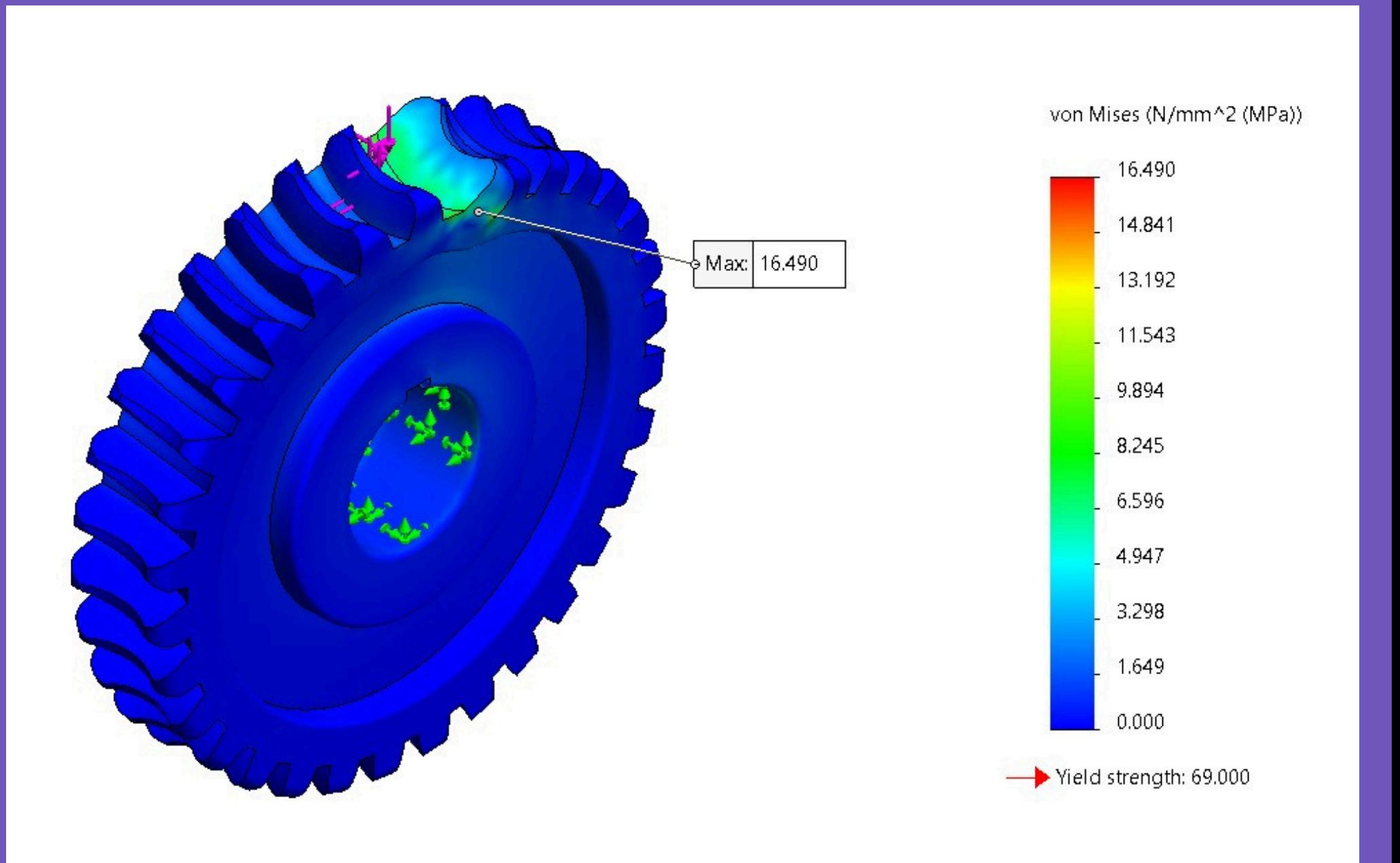
Fuerzas en el tornillo
sinfín y la corona

$$W_{tw} = \frac{2\tau_w}{d_{wm}}$$

$$W_{tg} = \frac{W_{tw}}{\left(\frac{\cos \phi_n \sin \lambda + \mu \cos \lambda}{\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda} \right)}$$

$$W_{rg} = \frac{W_{tg} \tan \phi_n}{\cos \lambda}$$

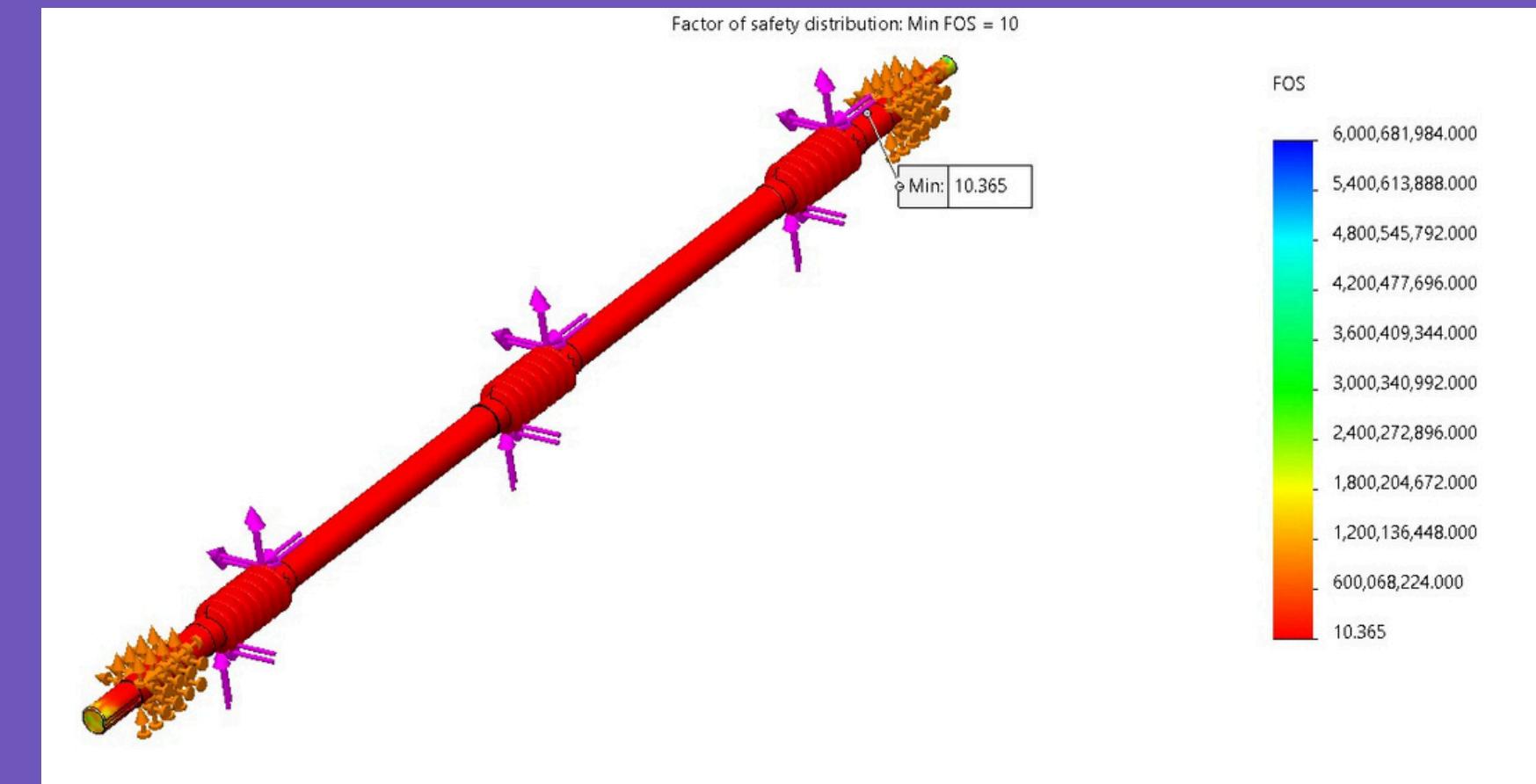
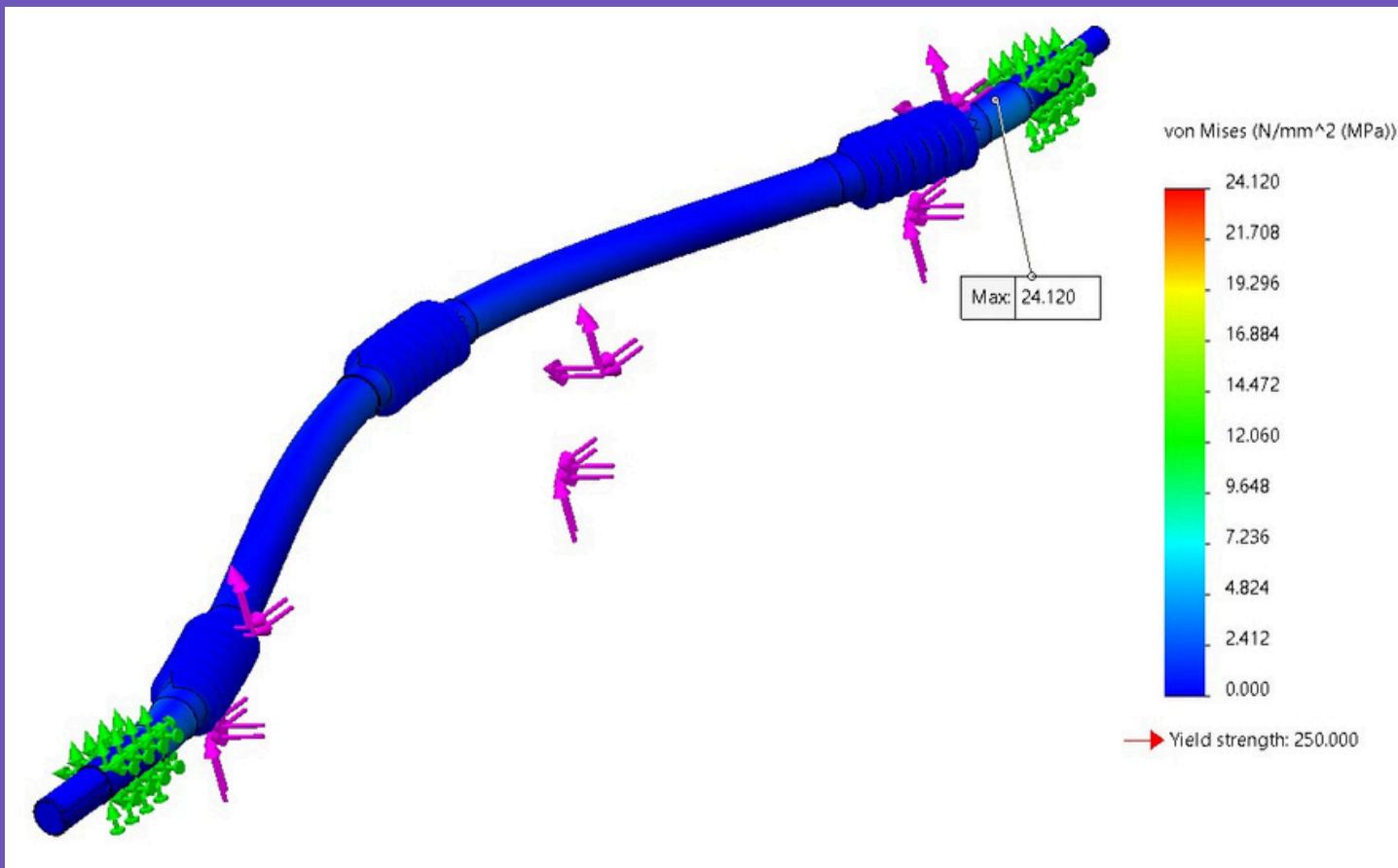
Corona-sinfín



Esfuerzo de flexión en dientes de la corona

$$\sigma = \frac{W_{tg} P_d}{b_{wg} Y} = 16,3 MPa$$

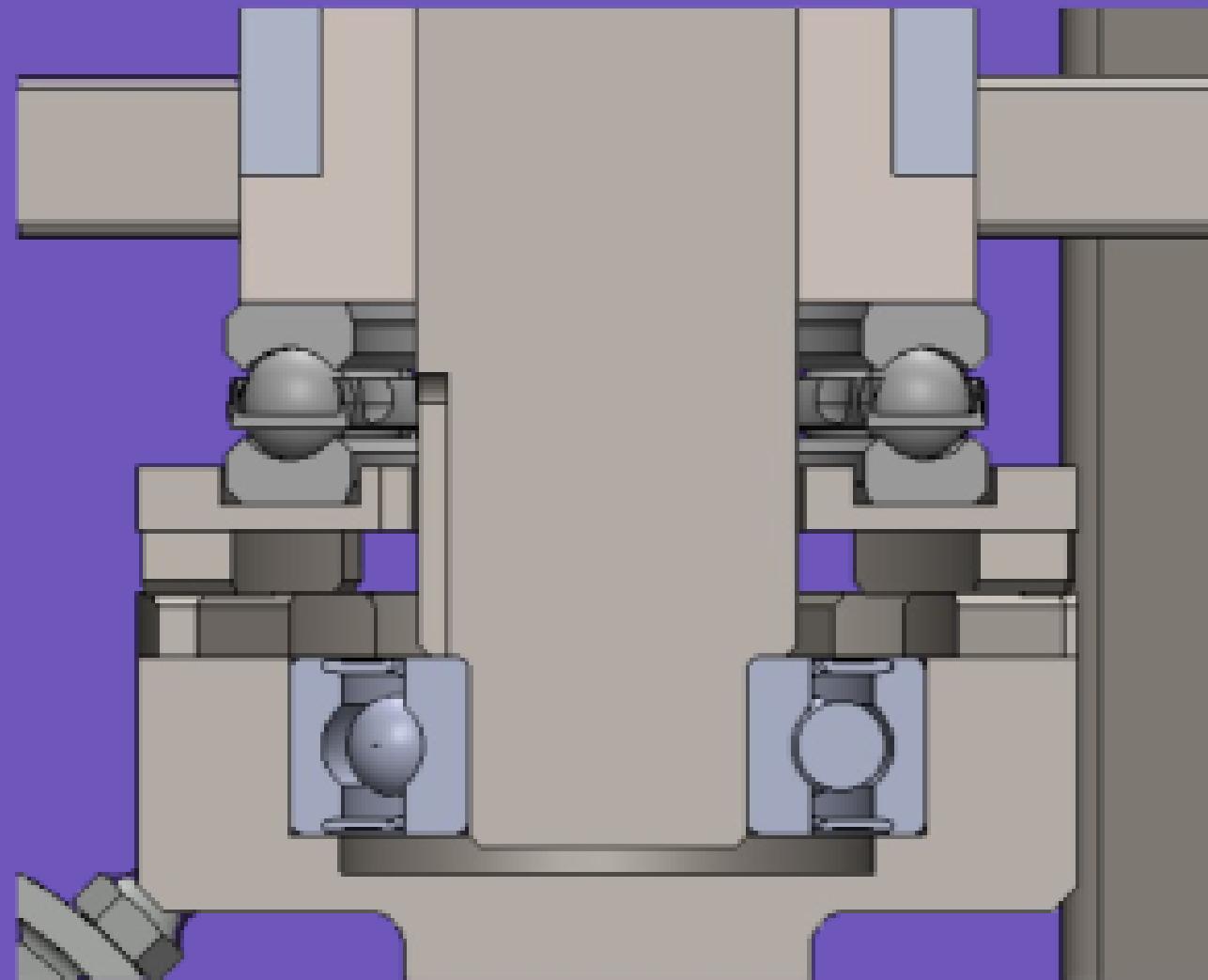
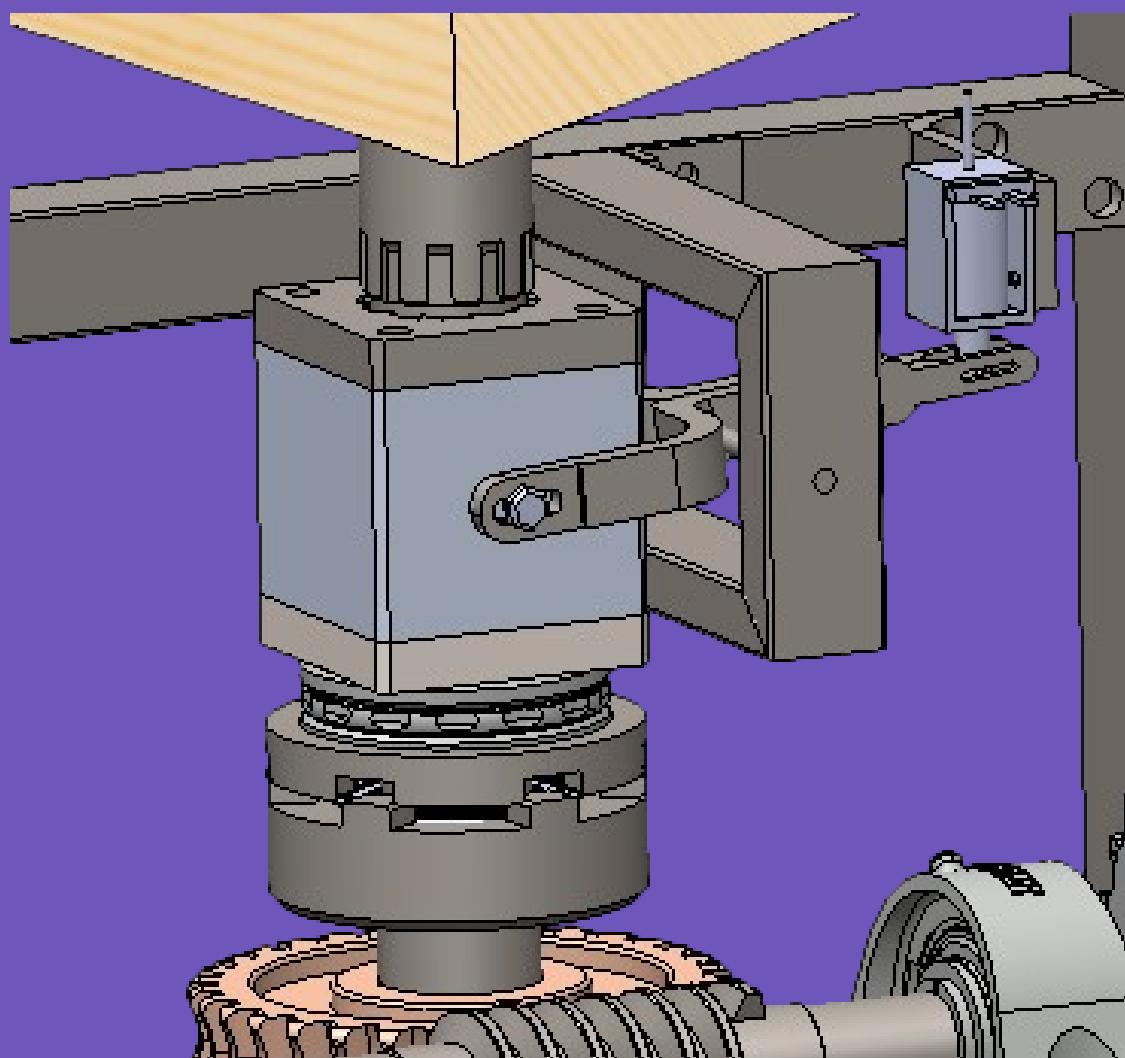
Eje del tornillo sinfín



Teoría del esfuerzo cortante máximo (MSST) y la línea de Soderberg

$$d_1 = \left[\frac{32n_s}{\pi S_y} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} K_f M_a \right)^2 + \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} K_{fs} T_a \right)^2} \right]^{1/3} = 18,30\text{mm}$$

Sistema de acoplamiento



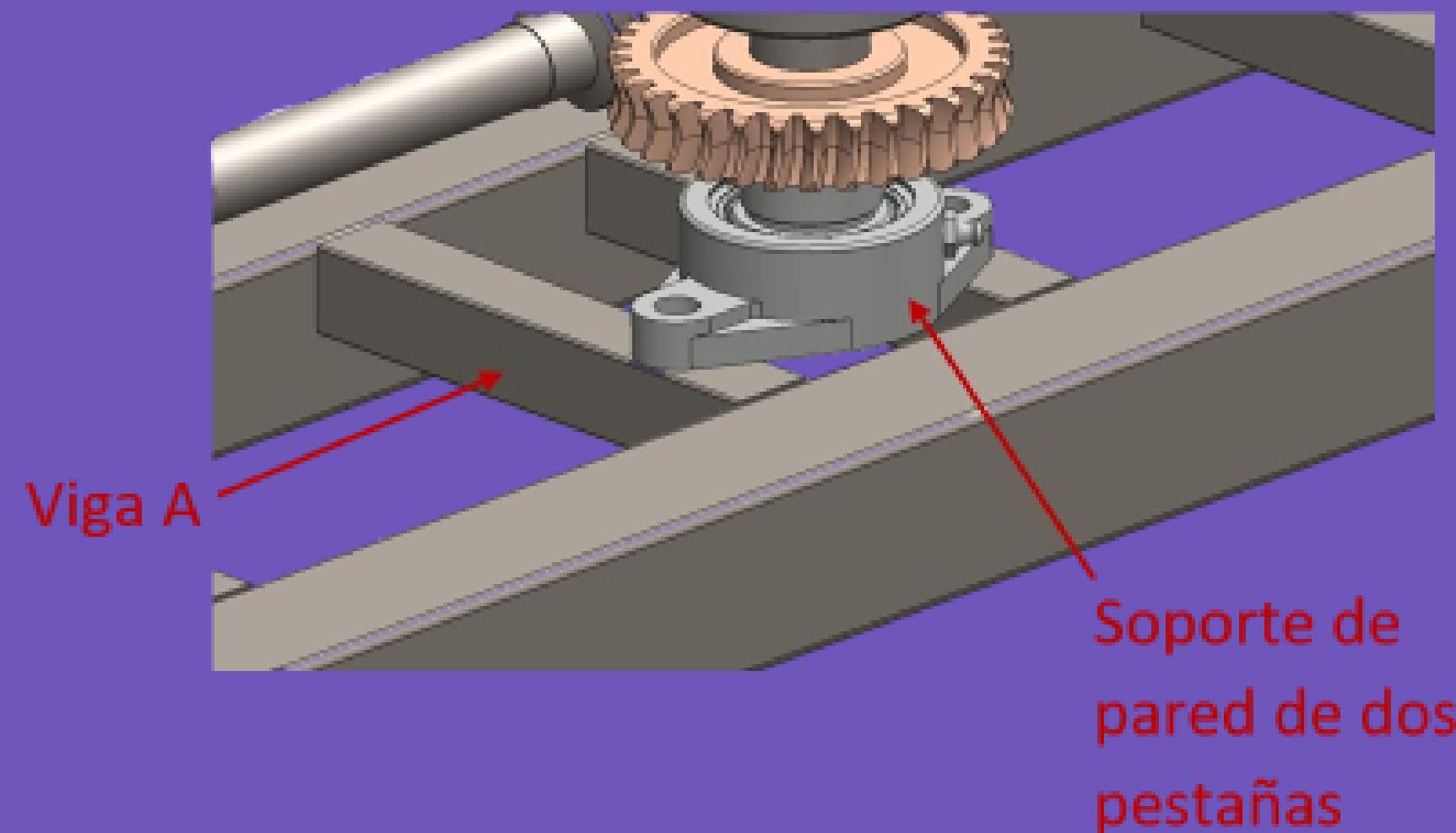
Solenoide

Rodamiento lineal

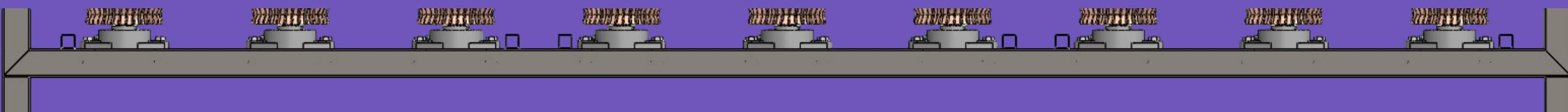
Cople tipo estrella

Rodamiento Axial

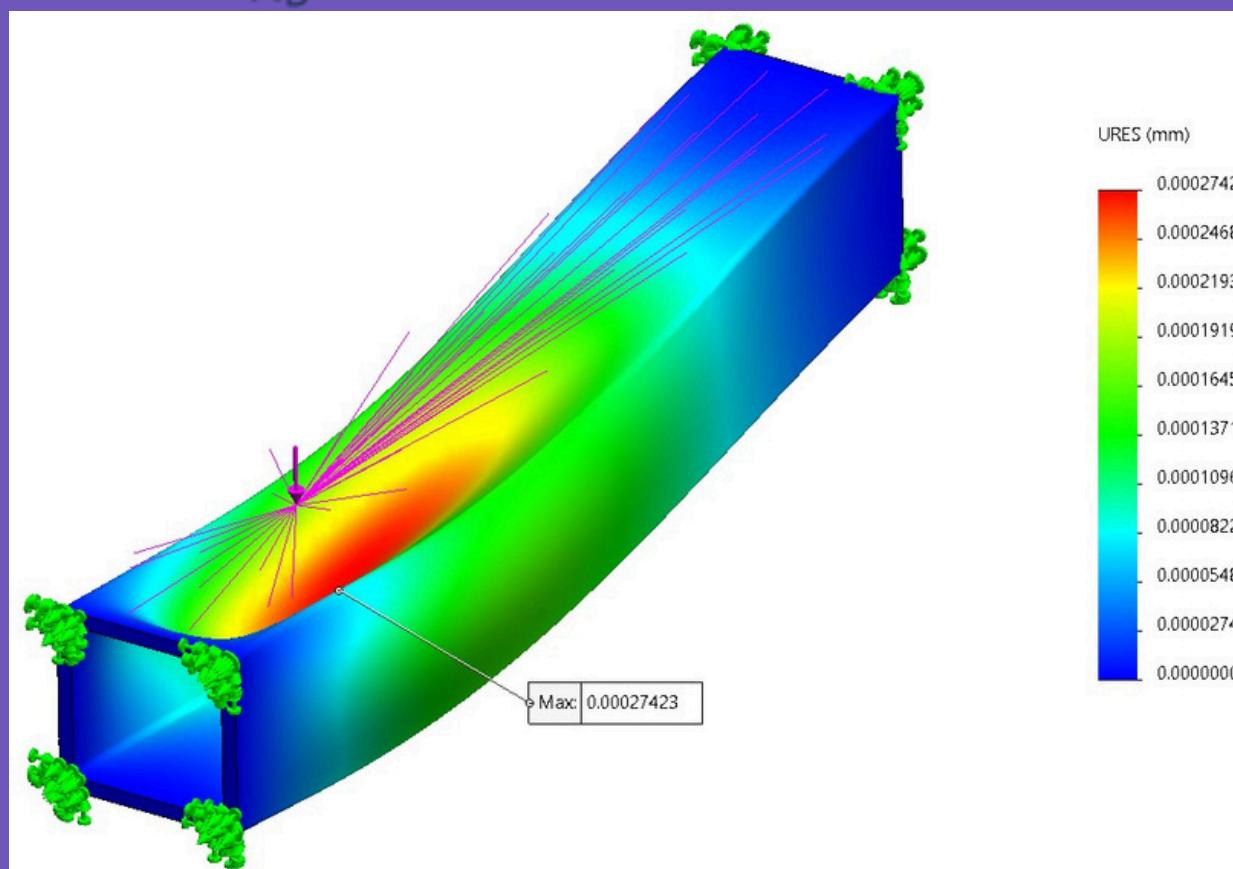
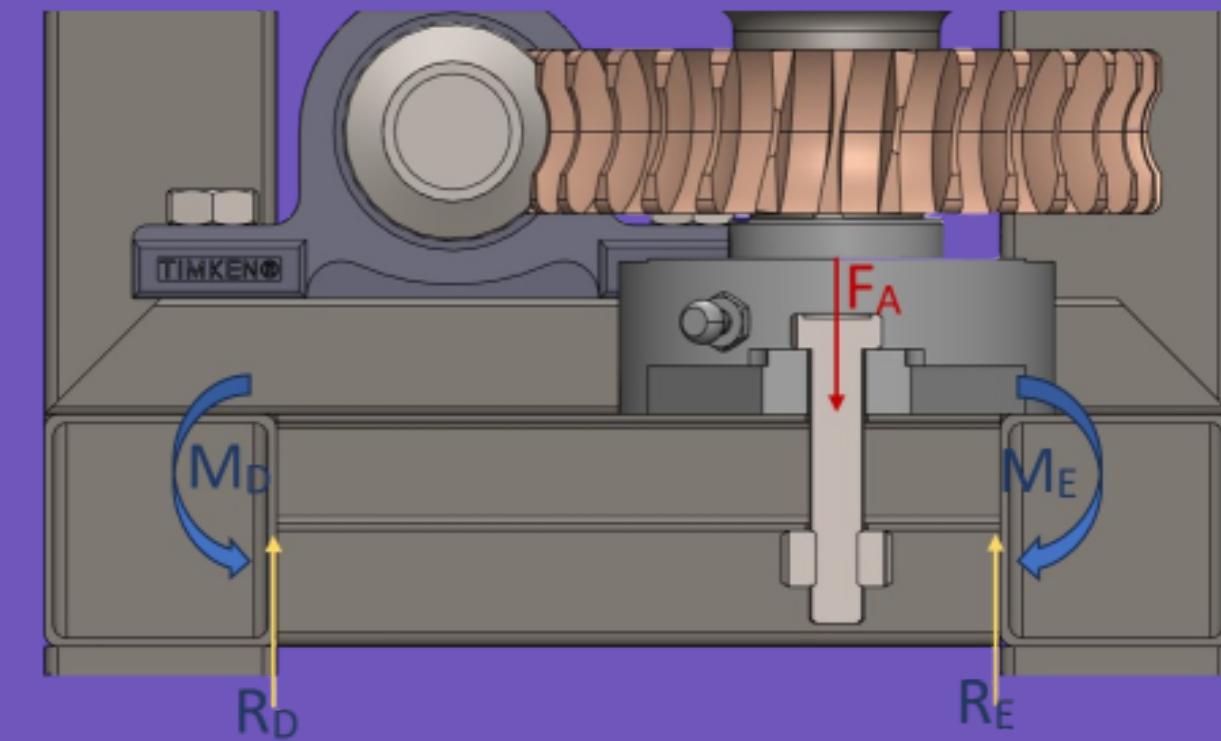
Miembro estructural



Viga A
Viga B



Viga A



Método de doble integración

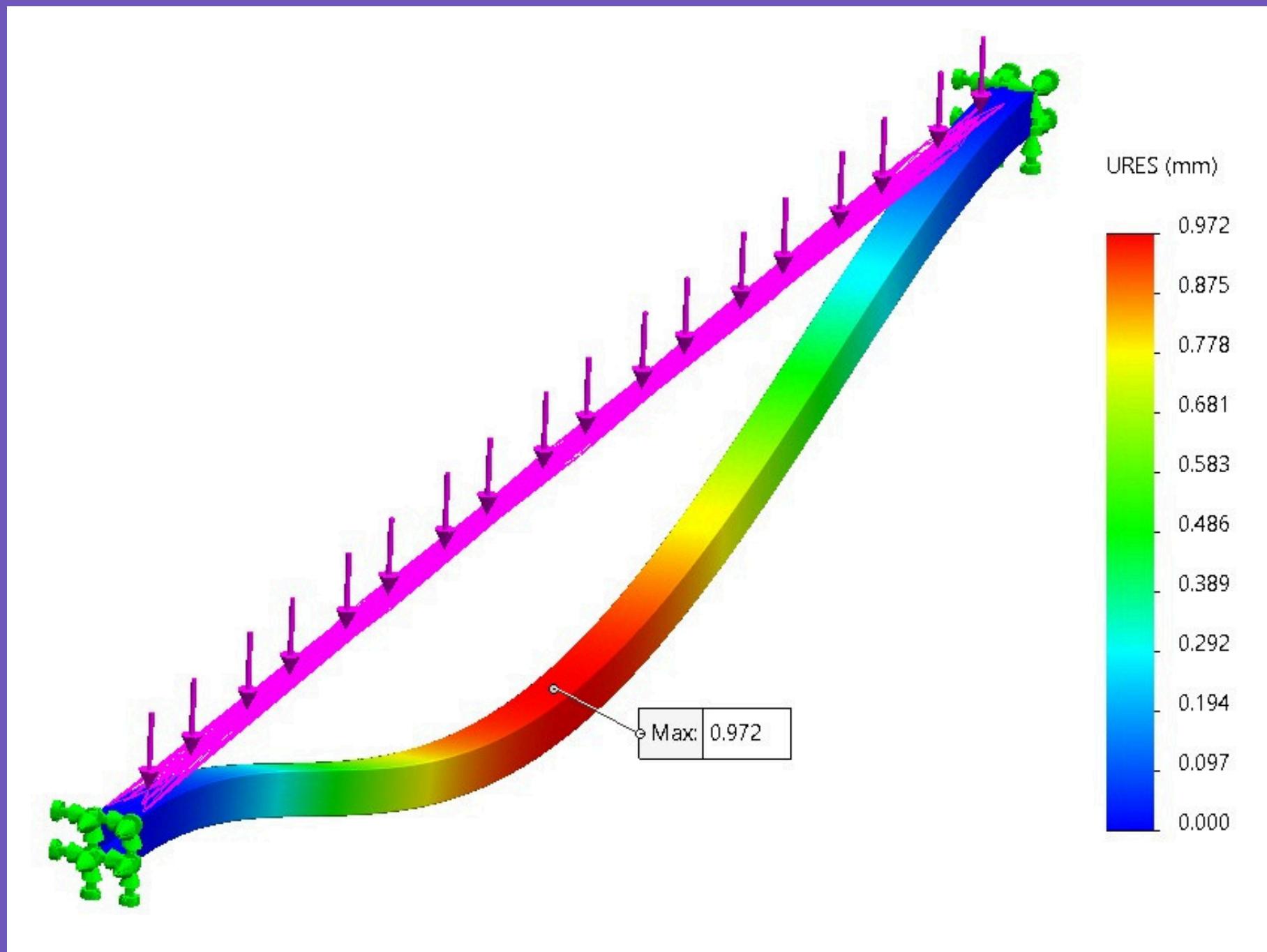
$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

$$I = 0,74175 \text{ cm}^4$$

Deflexión 0.0002 mm

Perfil cuadrado 1"x1" Cal. 20

Viga B



$$I = 14,38 \text{ cm}^4$$

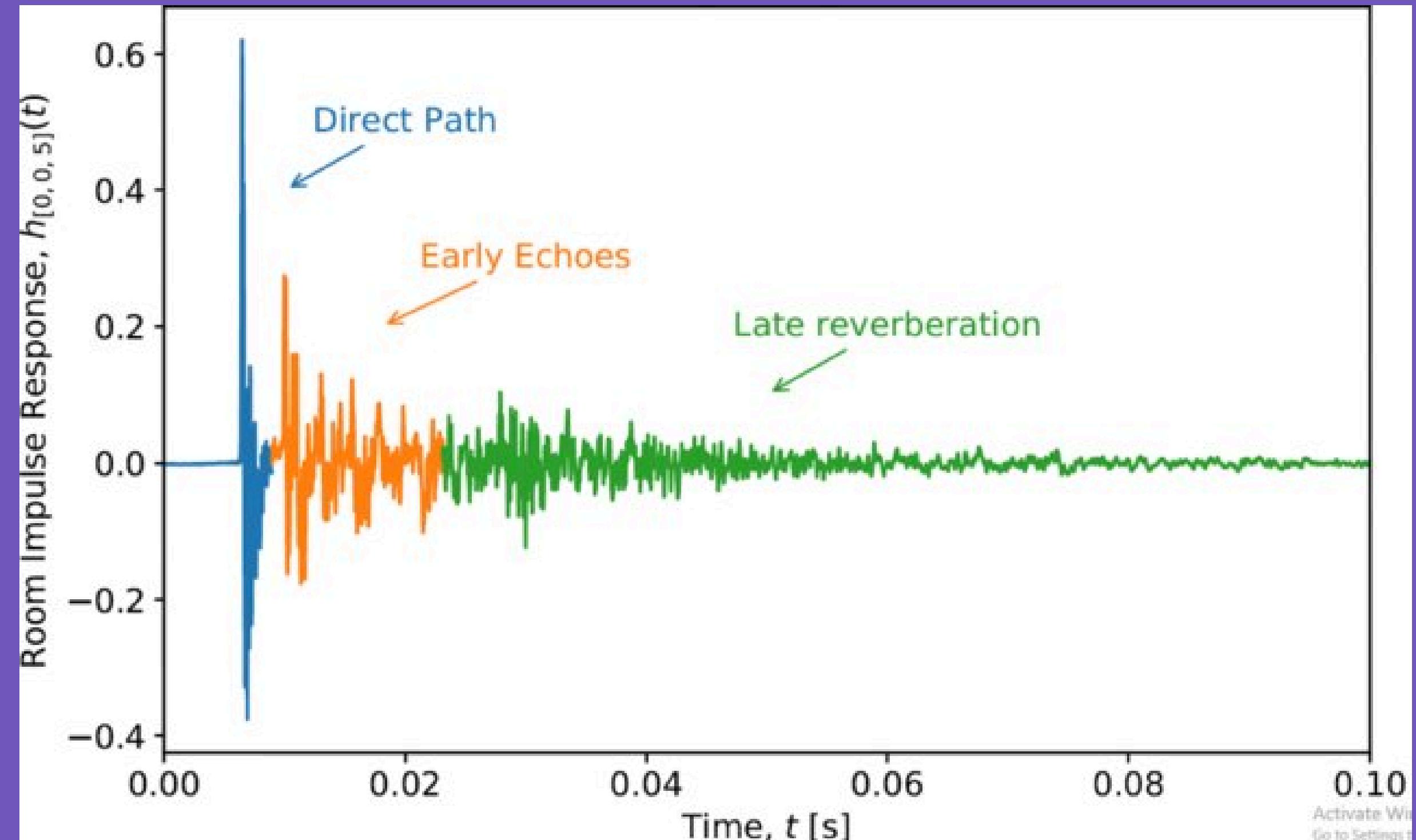
Deflexión 1 mm

Perfil cuadrado 2"x2" Cal. 14

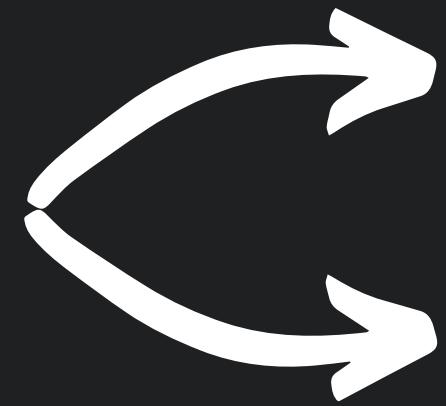
MF2. Módulo de generación y medición de la acústica

Filtro que aplica el recinto al sonido

Respuesta al impulso



ASIO - Audio Stream Input Output

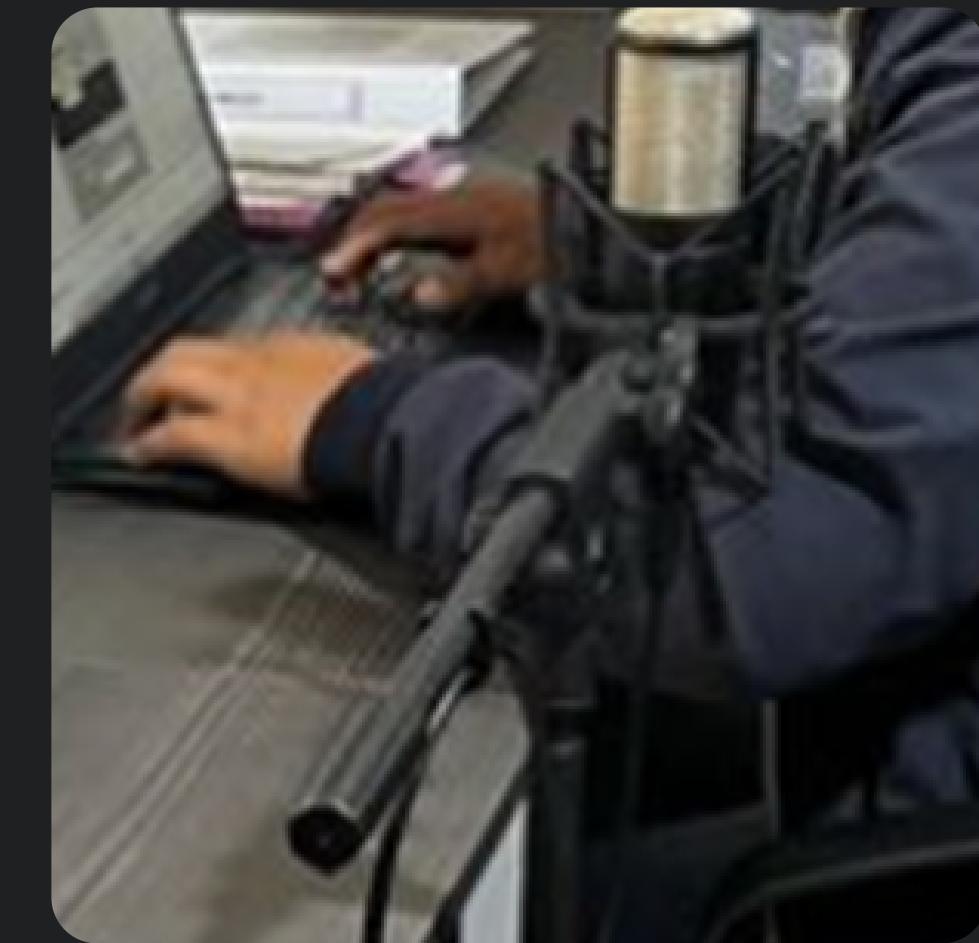


Software

Hardware

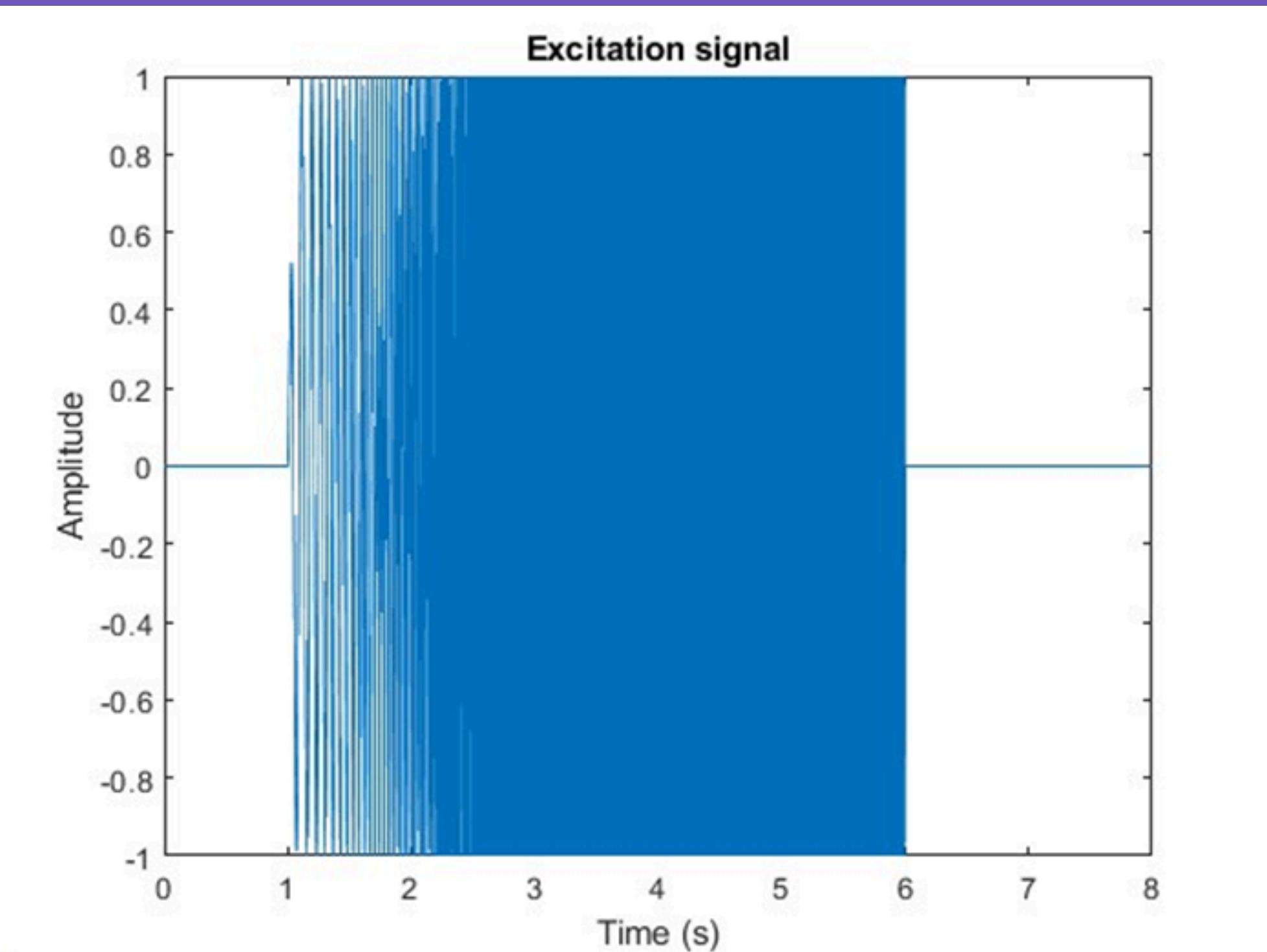


**Simultáneamente por
medio de Buffers**

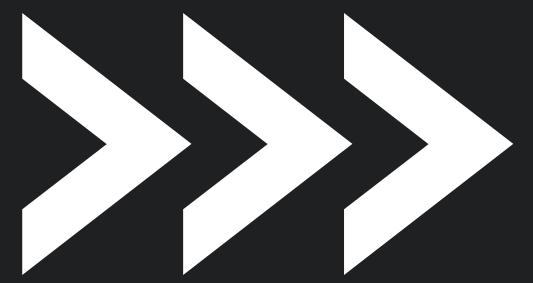


Método

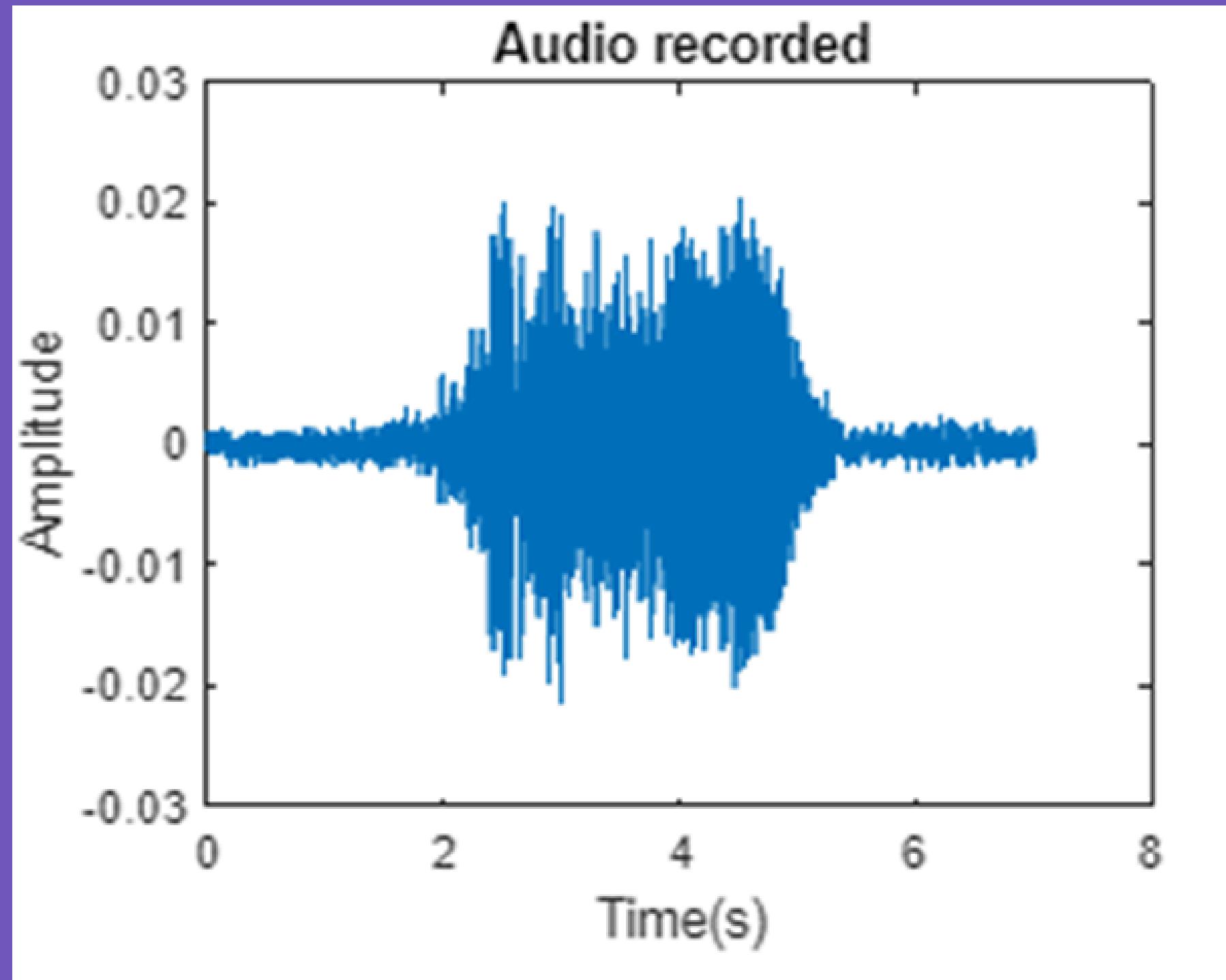
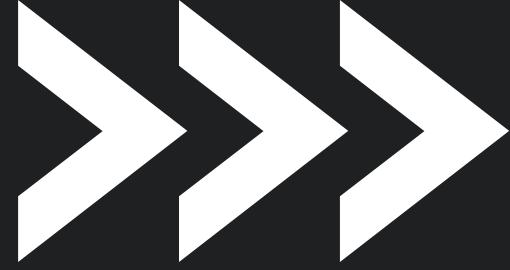
**Barrido
Senoidal**



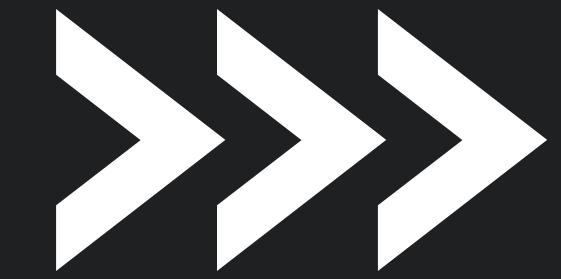
Al recinto



Al recinto

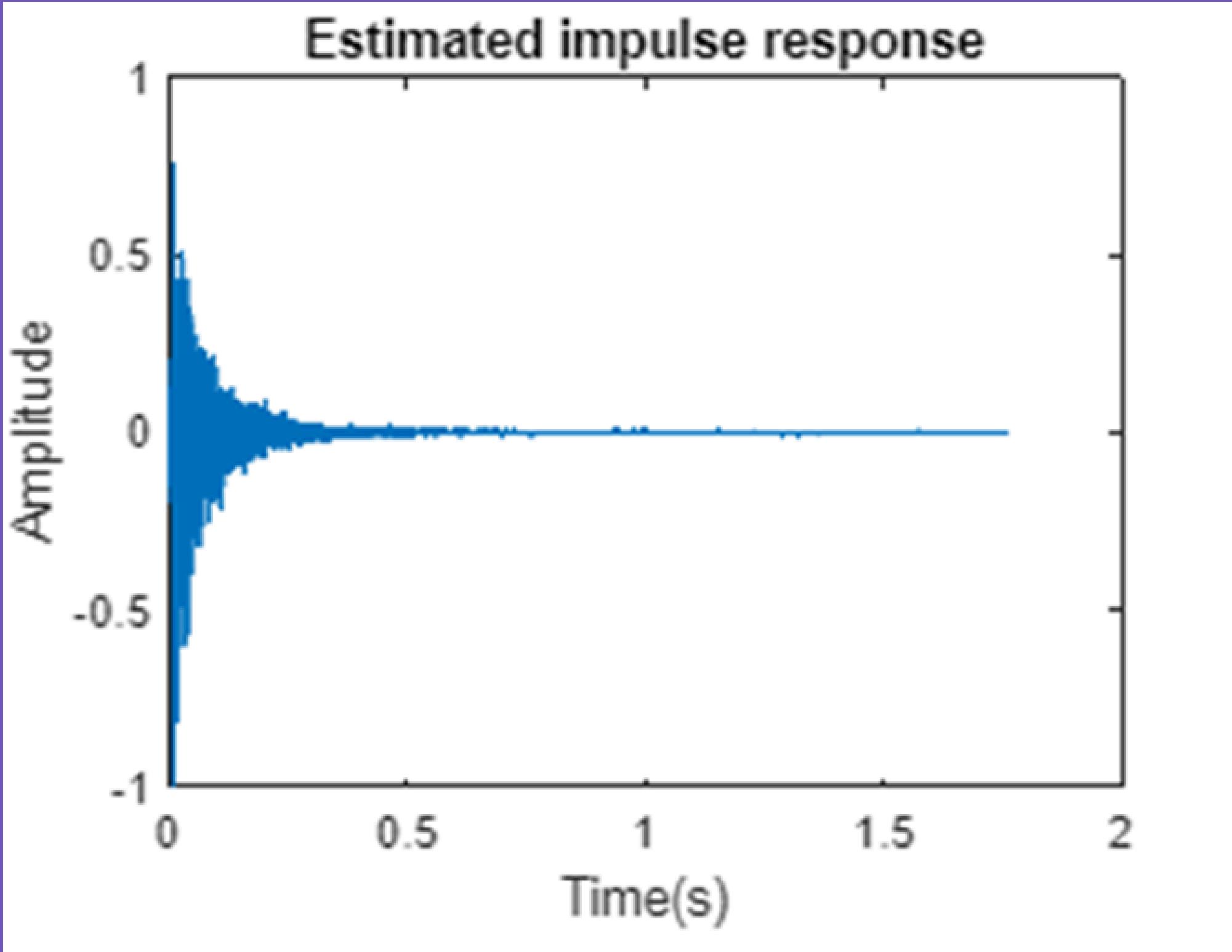
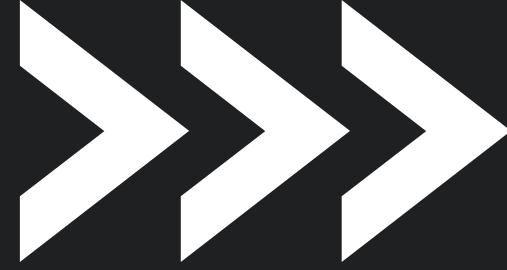


Deconvolución



Grabación de la excitación

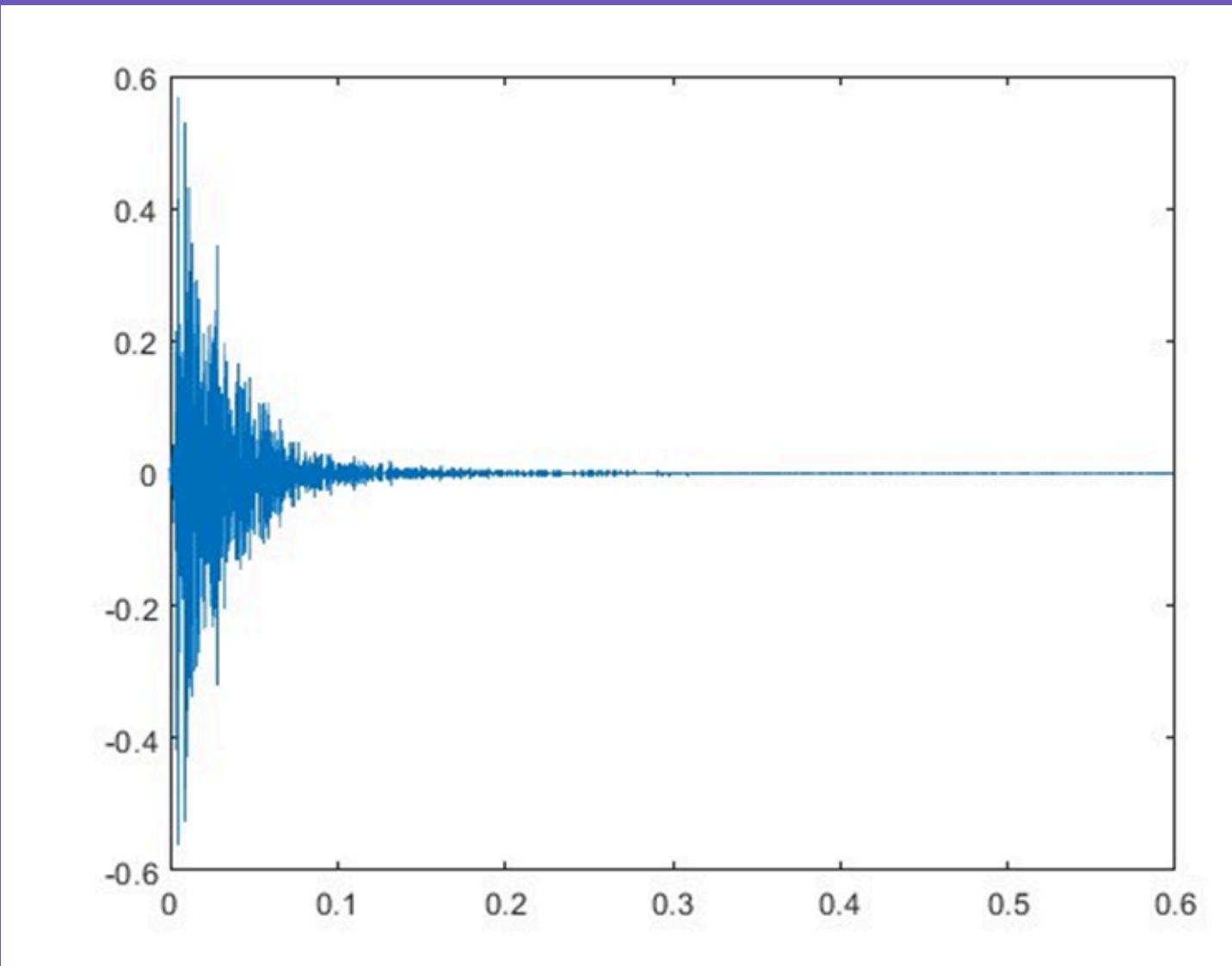
Deconvolución



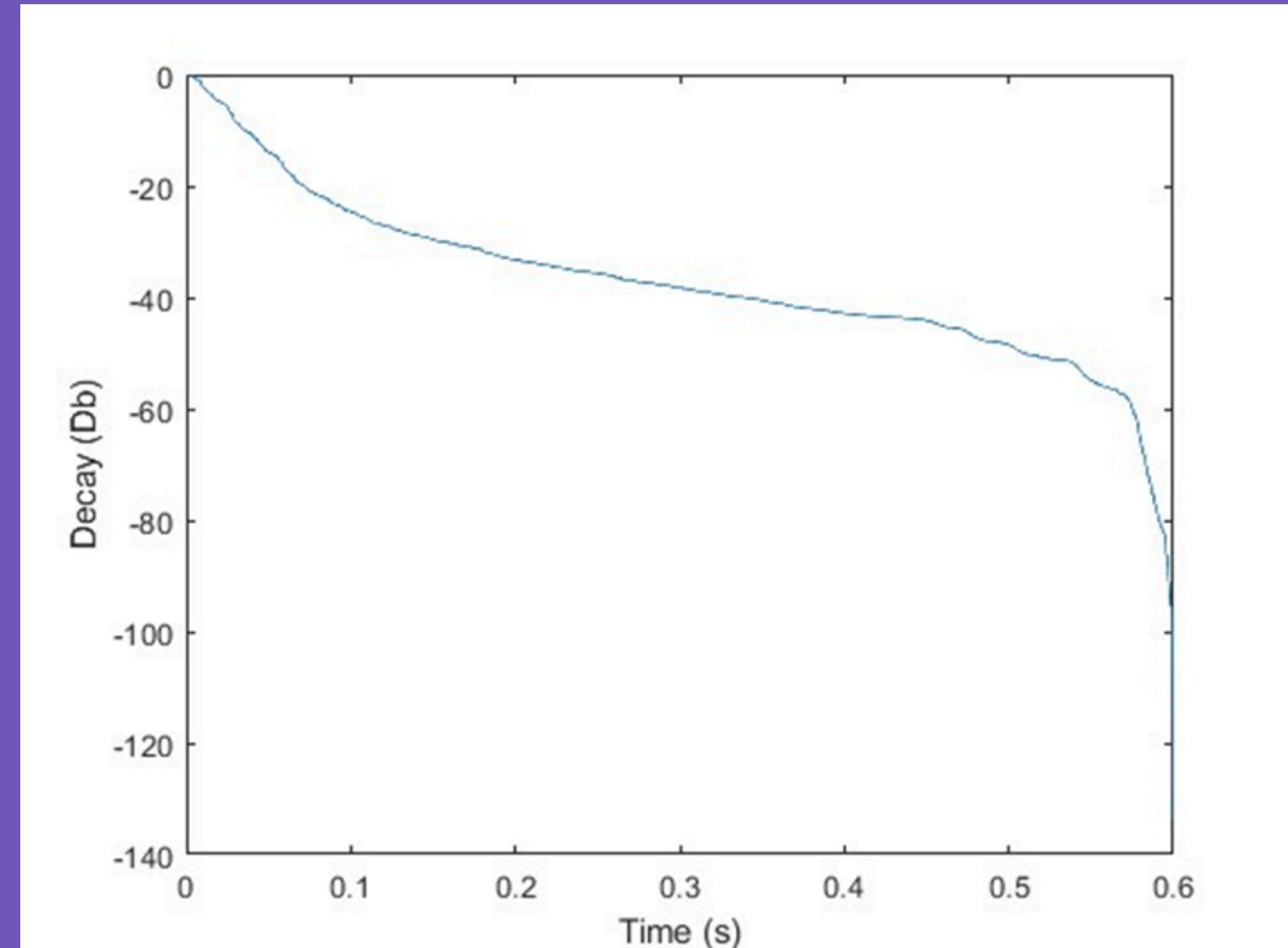
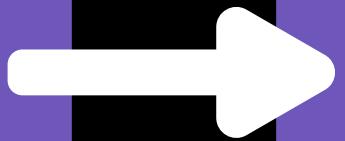
Respuesta al impulso

MF1.1 - Procesamiento de la respuesta y cálculo de la acústica

Procesamiento de la respuesta



Respuesta al impulso



Curva de decaimiento
de la energía

Parámetros acústicos (ISO-3382)

- **EDT** - Tiempo de decaimiento temprano* (-5 dB, -15 dB)
- **T20** - Tiempo de reverberación* (-5 dB , -25 dB)
- **T30** - Tiempo de reverberación* (-5 dB , -35 dB)
- **D50** - Definición (0 ms - 50 ms)
- **C50** - Claridad (0 ms - 50 ms)
- **C80** - Claridad (0 ms - 80 ms)
- **G** - Fuerza del sonido

*Están referidos a T60

$$C_{50/80} = 10 \log \left(\frac{D_{50/80}}{1 - D_{50/80}} \right)$$

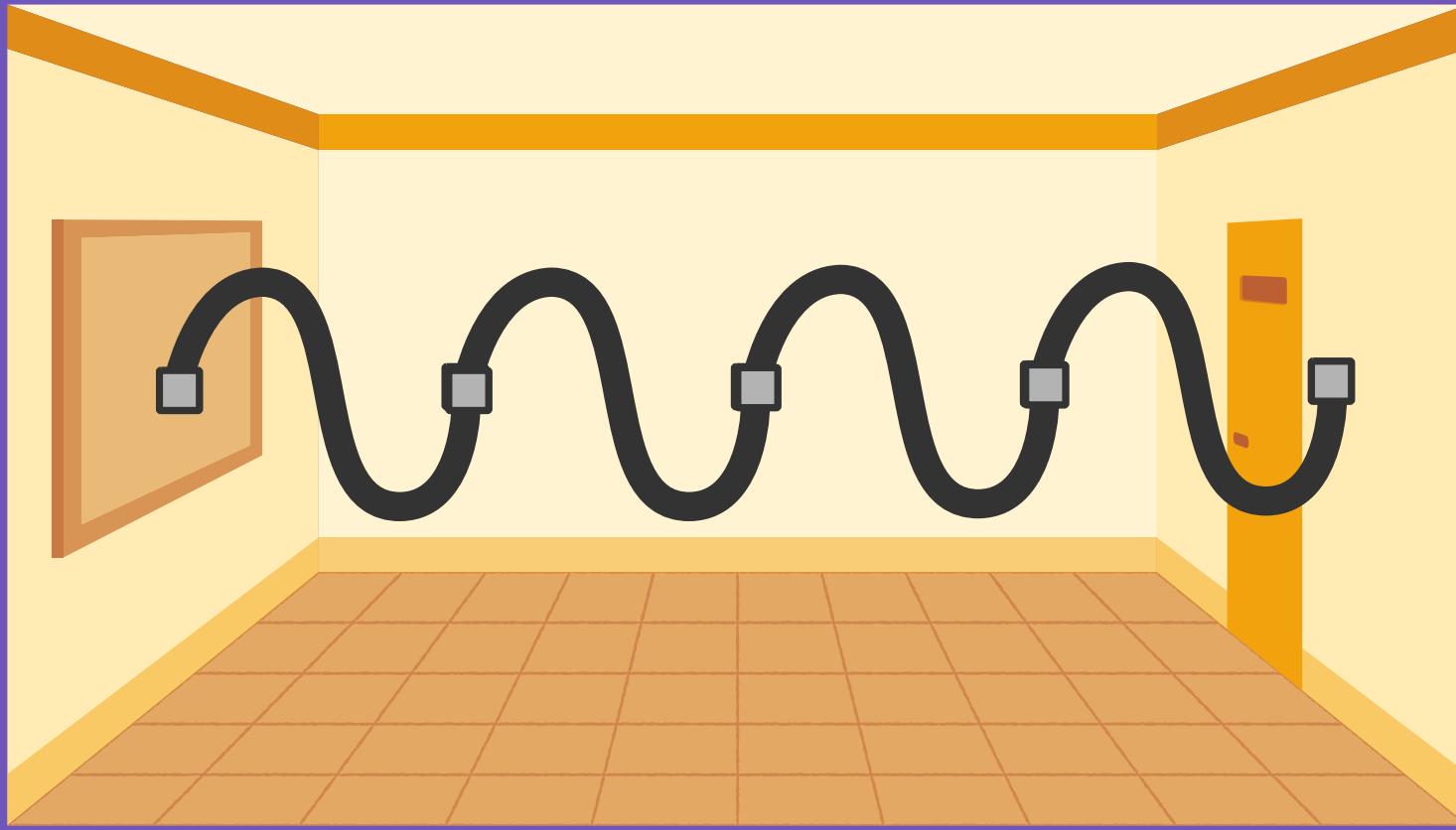
$$G = 10 \log_{10} \left(\frac{T_{60}}{V} \right)$$

Octavas de frecuencia

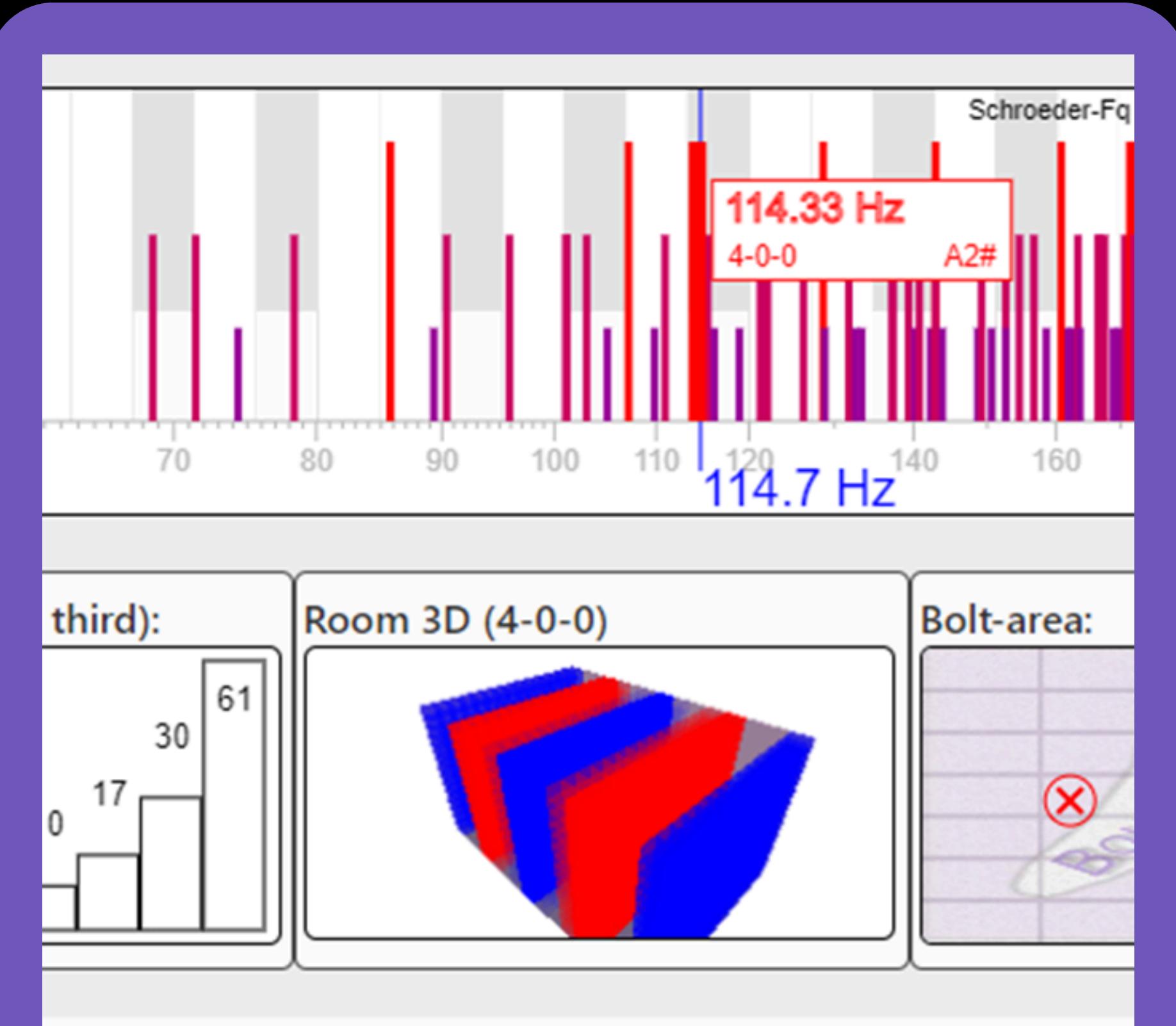
Frecuencia central	Limite inferior	Limite superior
125 Hz	88.39 Hz	176.8 Hz
250 Hz	176.8 Hz	353,6 Hz
500 Hz	353.6 Hz	707.1 Hz
1000 Hz	707.1 Hz	1414 Hz
2000 Hz	1414 Hz	2828 Hz
4000 Hz	2828 Hz	5657 HZ

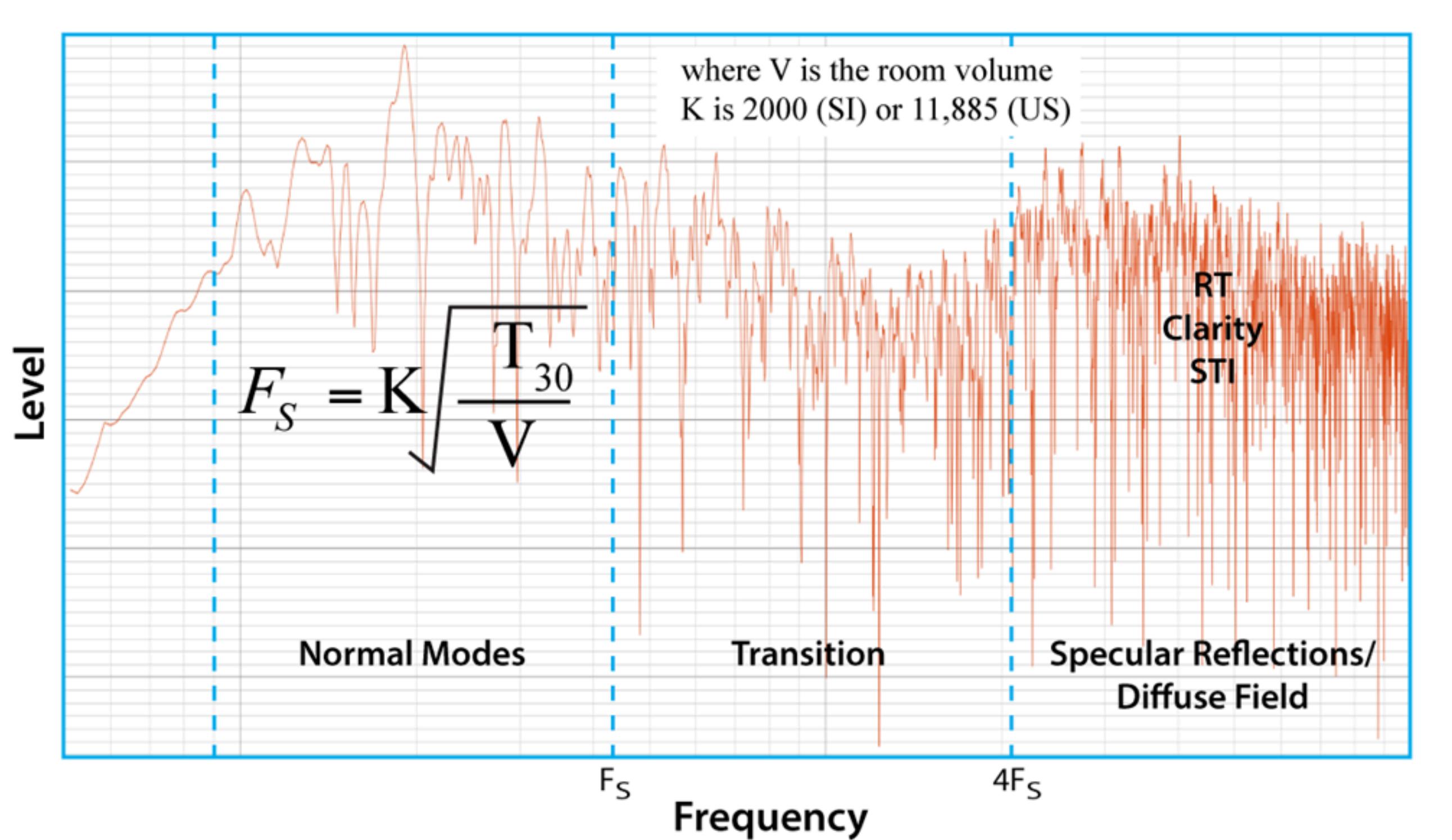
Bandas de frecuencia para las octavas

Modos normales de vibración



Zonas de alta y baja presión

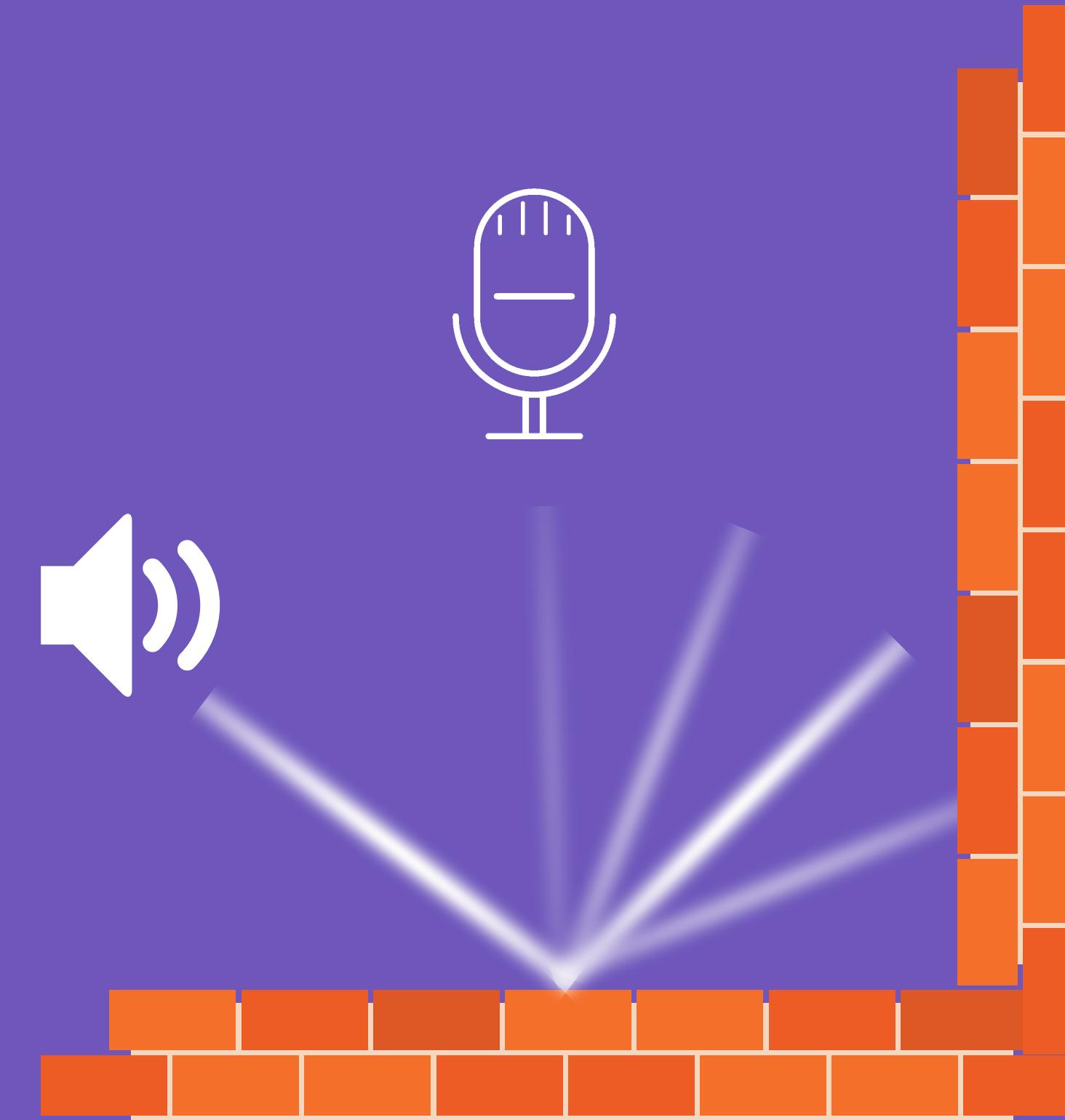


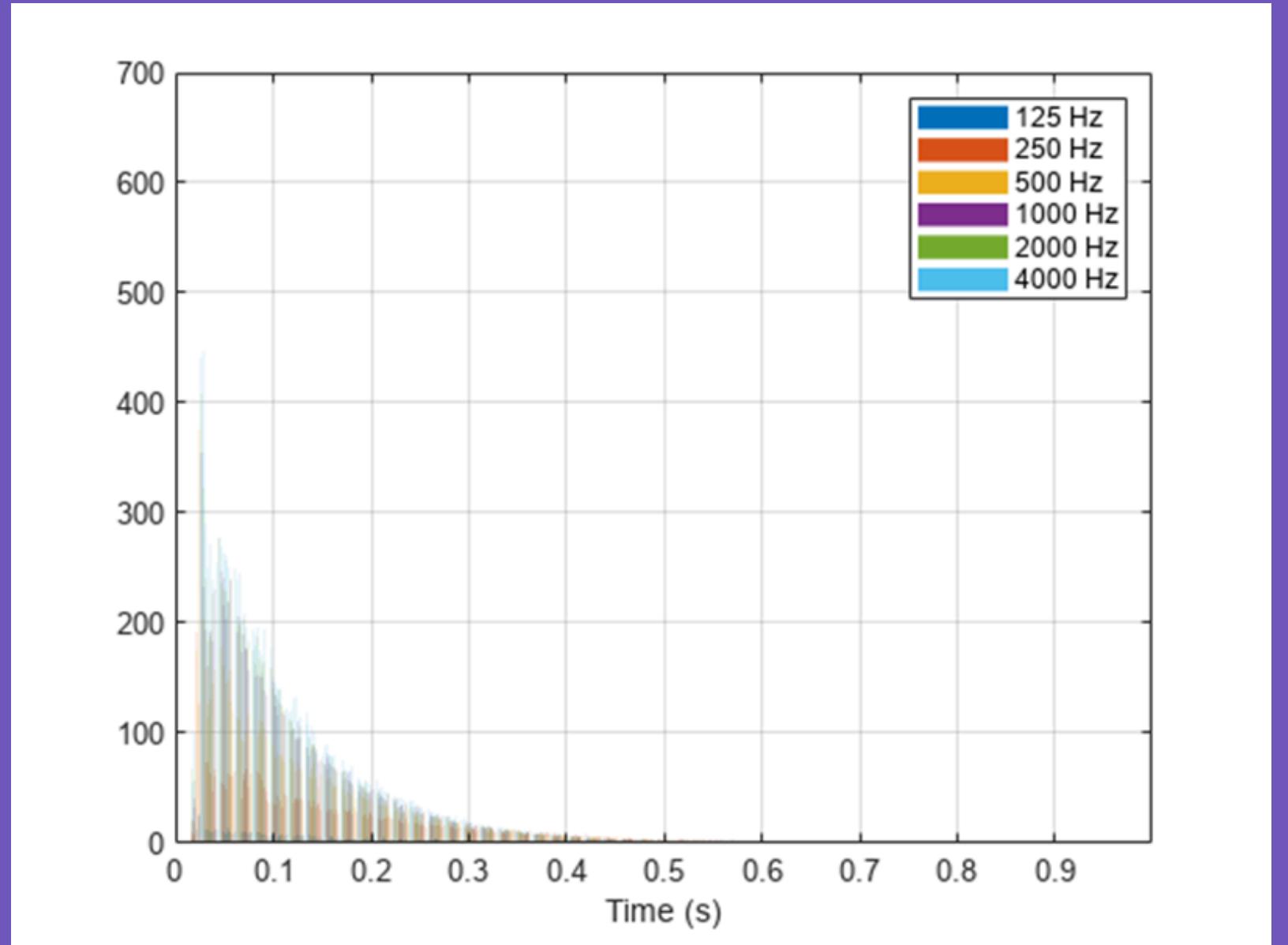


Respuesta en frecuencia

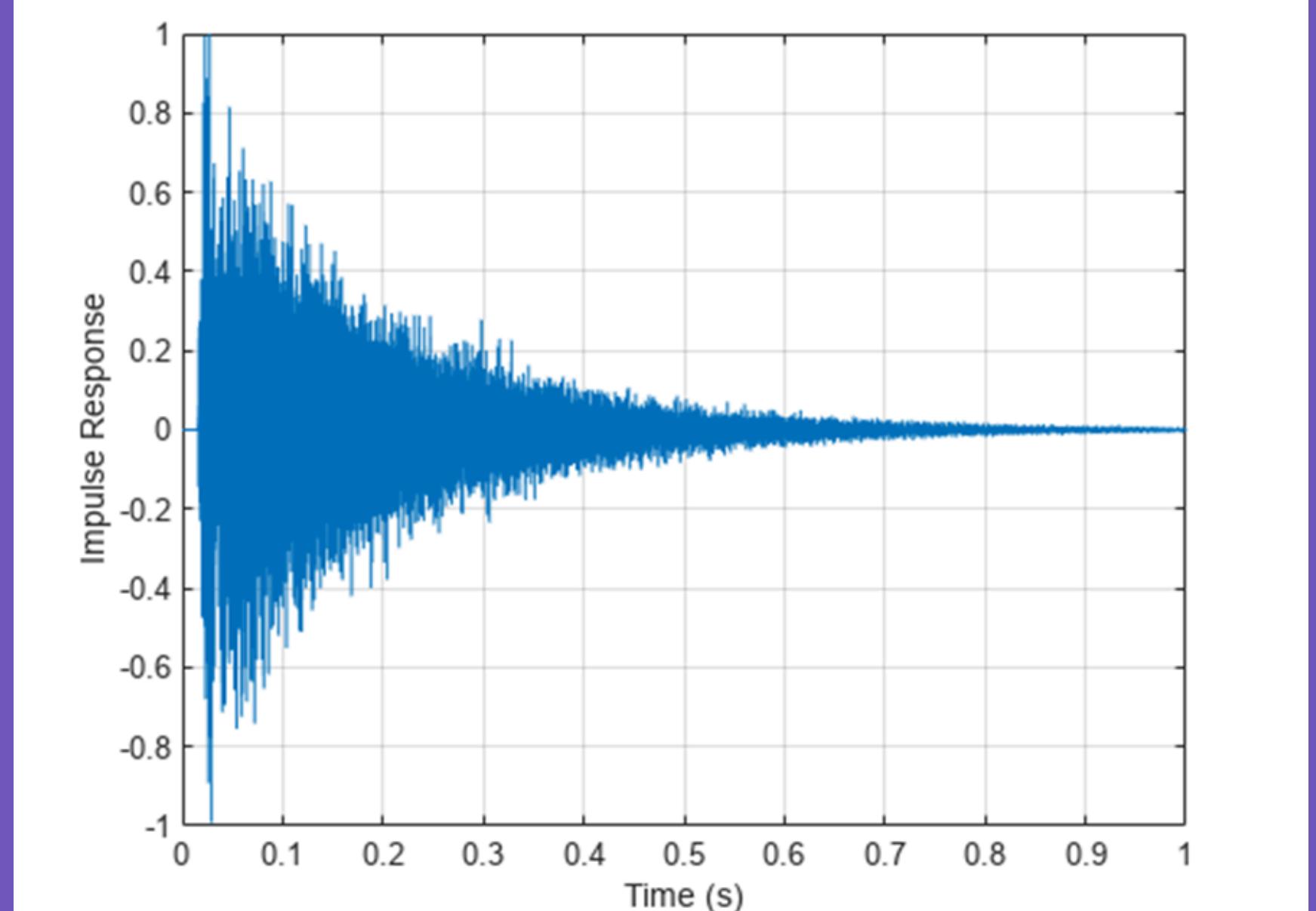
Simulación de la respuesta al impulso

**Room Impulse Response
Simulation with
Stochastic Ray Tracing
- MathWorks**





Histograma por
frecuencias



Respuesta al impulso
reconstruida

Calcular
rebotes



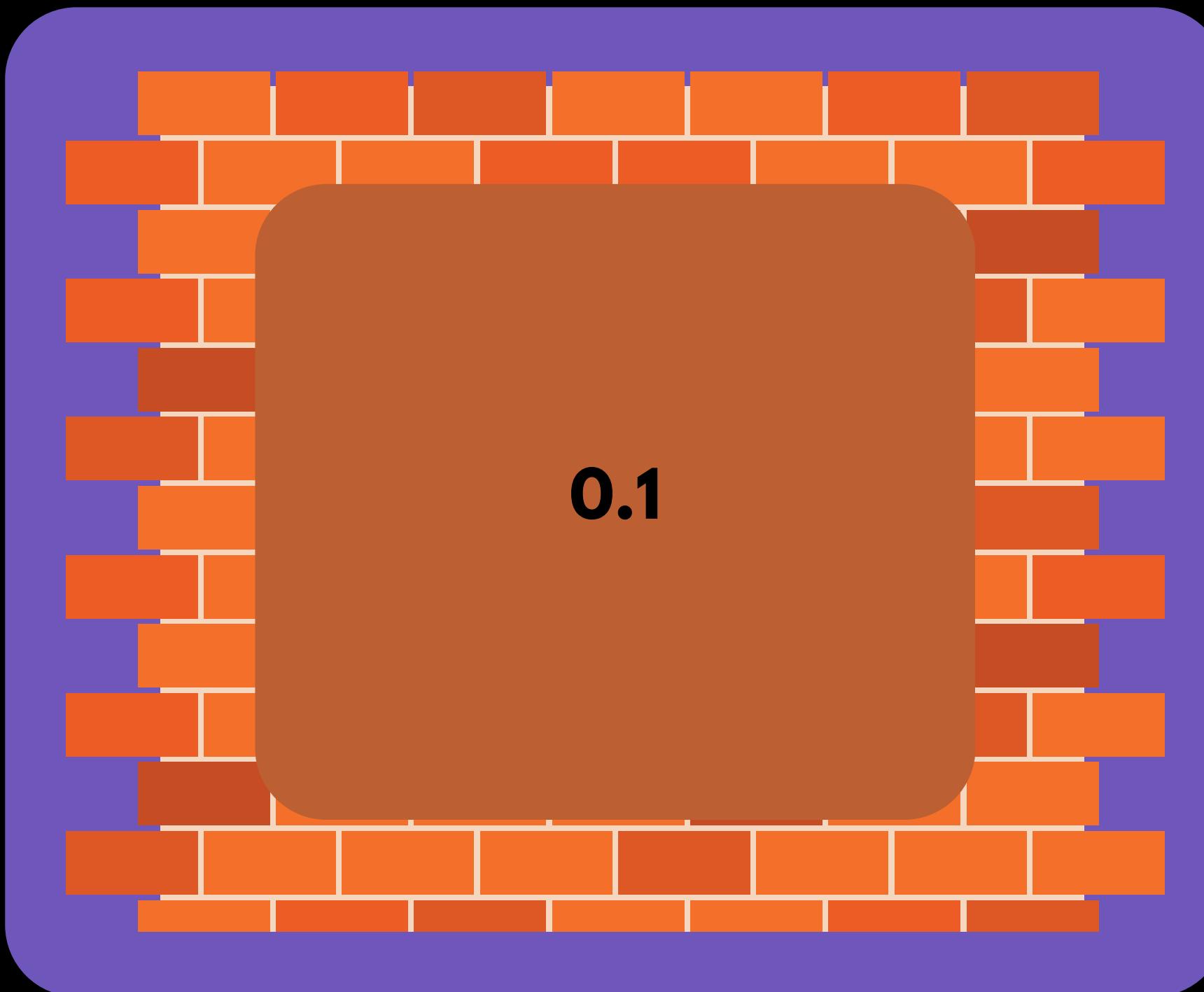
Energía que
llega al receptor



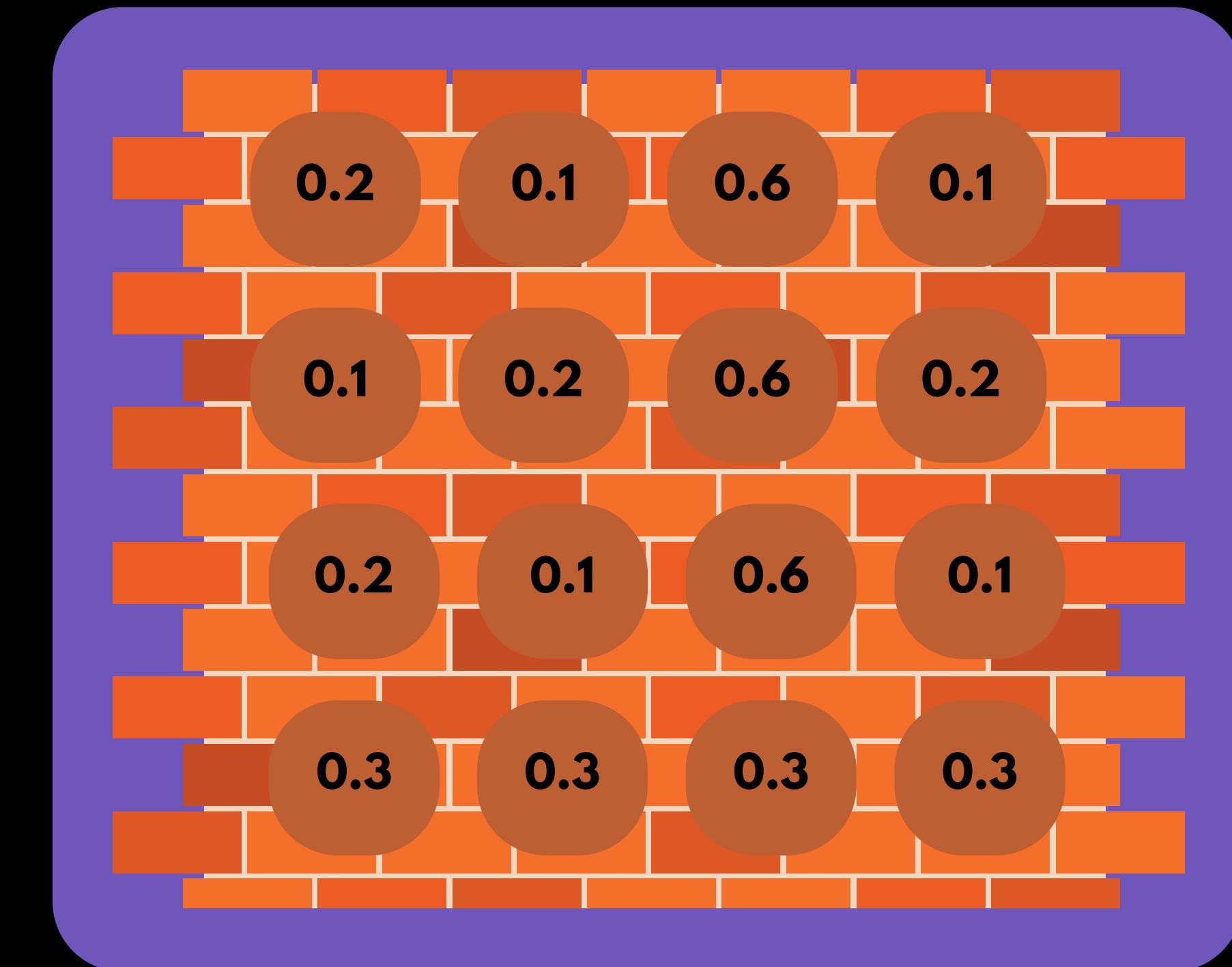
Histograma por
frecuencias



Proceso de
Poisson



Implementación
MathWorks
Características uniformes



Nuestra implementación
Características localizadas

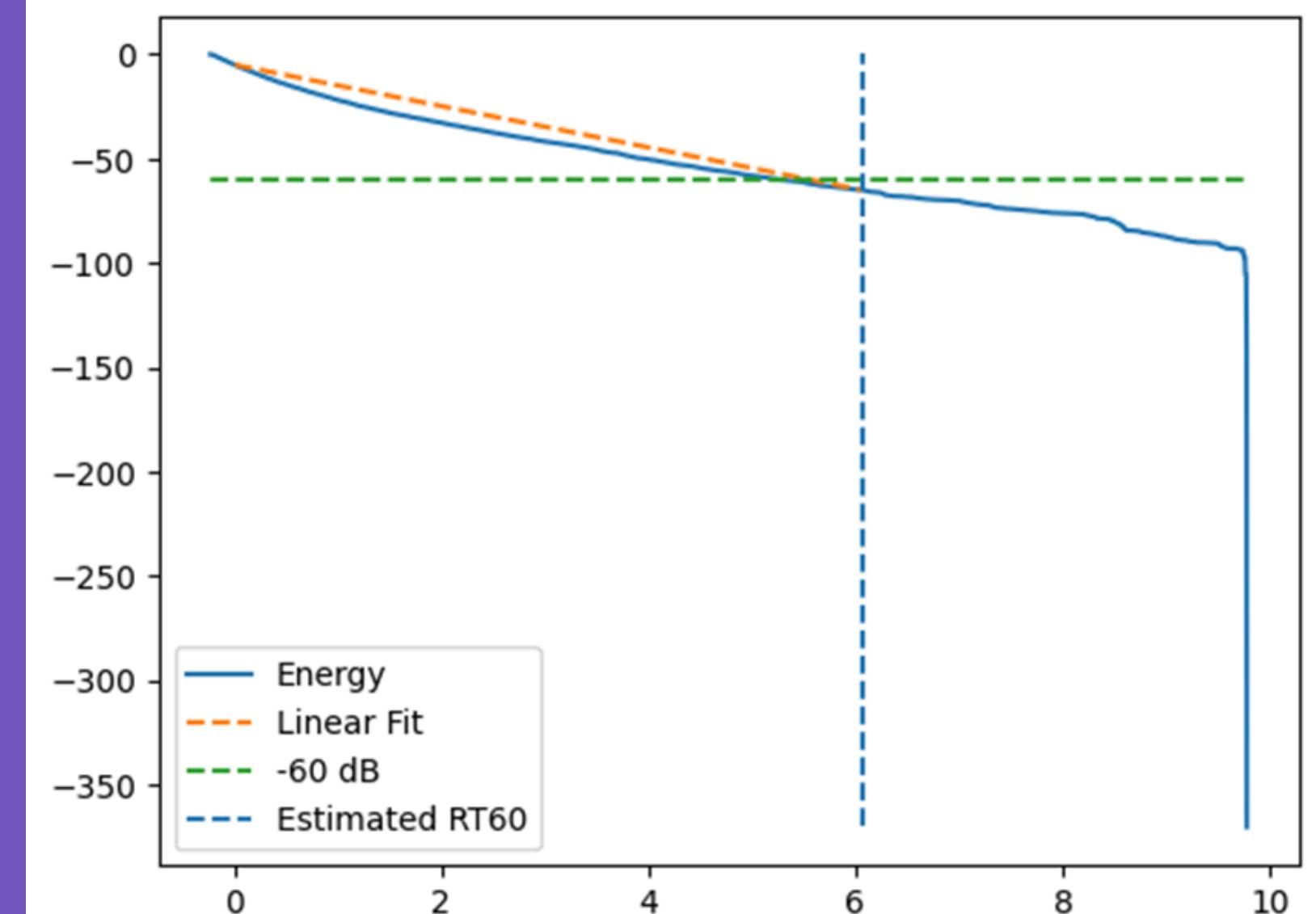
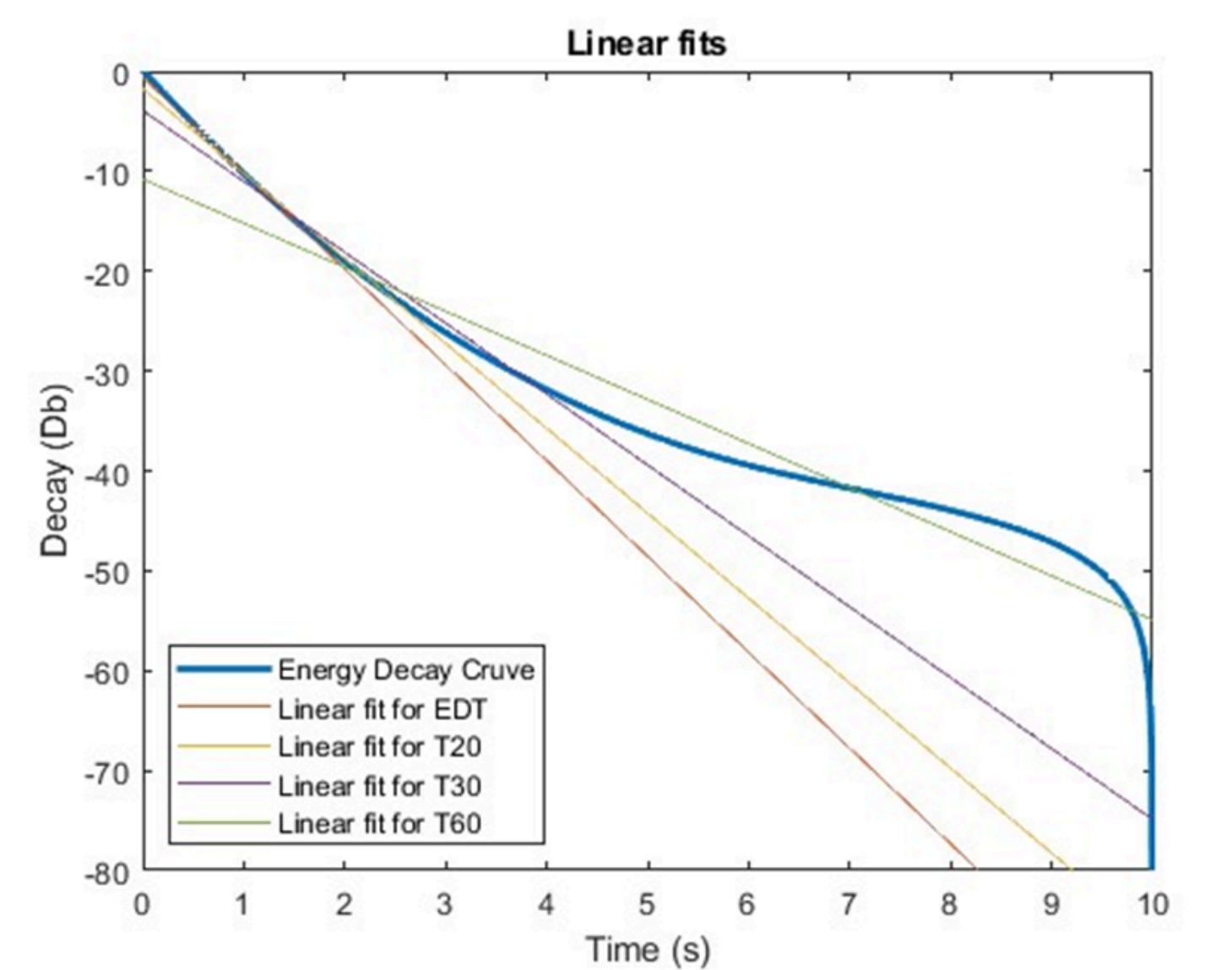
```
1 [abs_map, scatt_map] = updateAbsScattCoeffs(abs_map,scatt_map,1,abs_coeffs(:,1), ...
2     scatt_coeffs(:,1),[0,0],[room_dim(2),room_dim(3)]); %SmallWall
3 [abs_map, scatt_map] = updateAbsScattCoeffs(abs_map,scatt_map,2,abs_coeffs(:,1), ...
4     scatt_coeffs(:,1),[0,0],[room_dim(2),room_dim(3)]); %OpSmallWall
5 [abs_map, scatt_map] = updateAbsScattCoeffs(abs_map,scatt_map,3,abs_coeffs(:,1), ...
6     scatt_coeffs(:,1),[0,0],[room_dim(1),room_dim(3)]); %LargeWall
7 [abs_map, scatt_map] = updateAbsScattCoeffs(abs_map,scatt_map,4,abs_coeffs(:,1), ...
8     scatt_coeffs(:,1),[0,0],[room_dim(1),room_dim(3)]); %OpLargeWall
9 [abs_map, scatt_map] = updateAbsScattCoeffs(abs_map,scatt_map,5,abs_coeffs(:,1), ...
10    scatt_coeffs(:,1),[0,0],[room_dim(1),room_dim(2)]); %Floor
11 [abs_map, scatt_map] = updateAbsScattCoeffs(abs_map,scatt_map,6,abs_coeffs(:,1), ...
12    scatt_coeffs(:,1),[0,0],[room_dim(1),room_dim(2)]); %Ceiling
```

Función de cambio de características

Coordenadas, Propiedades, Pared → Mapas

Validación

Características uniformes
Curvas de decaimiento



Nuestra implementación
RT = 6.19 segundos

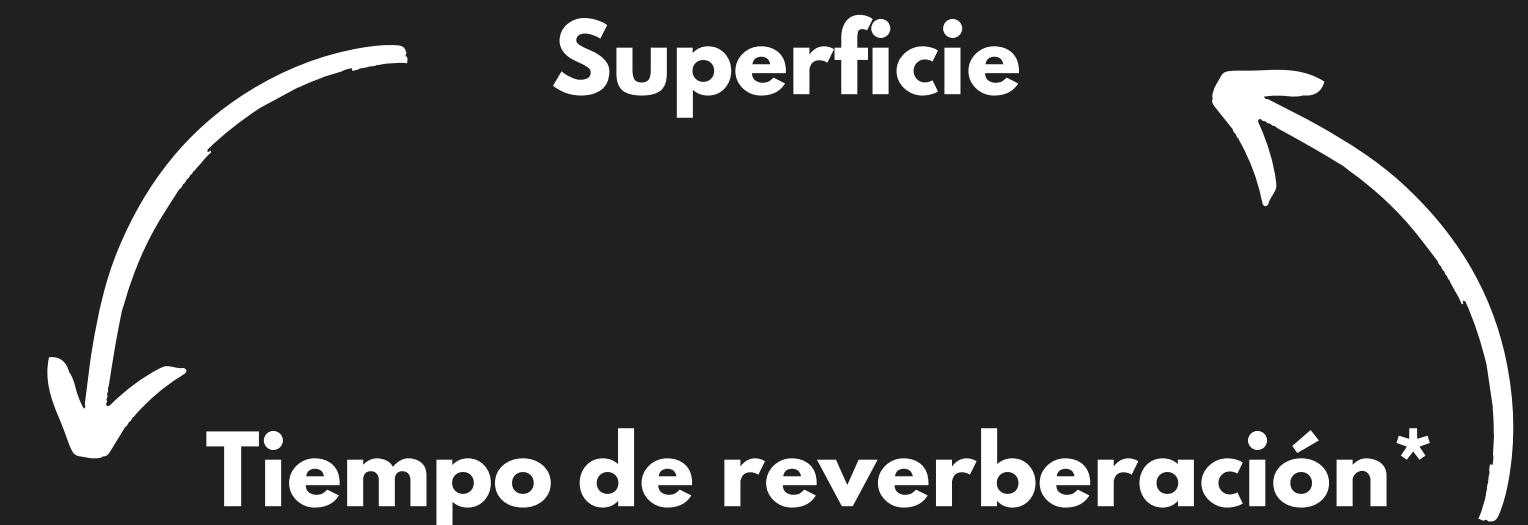
PyRoomAcoustics
RT = 6.04 segundos

MF1.2 - Procesamiento de la estrategia de control y posiciones de los paneles

Posiciones de los paneles

$$TR = \frac{0.161 V}{\sum_i S_i \alpha_i}$$

Ecuación de Sabine

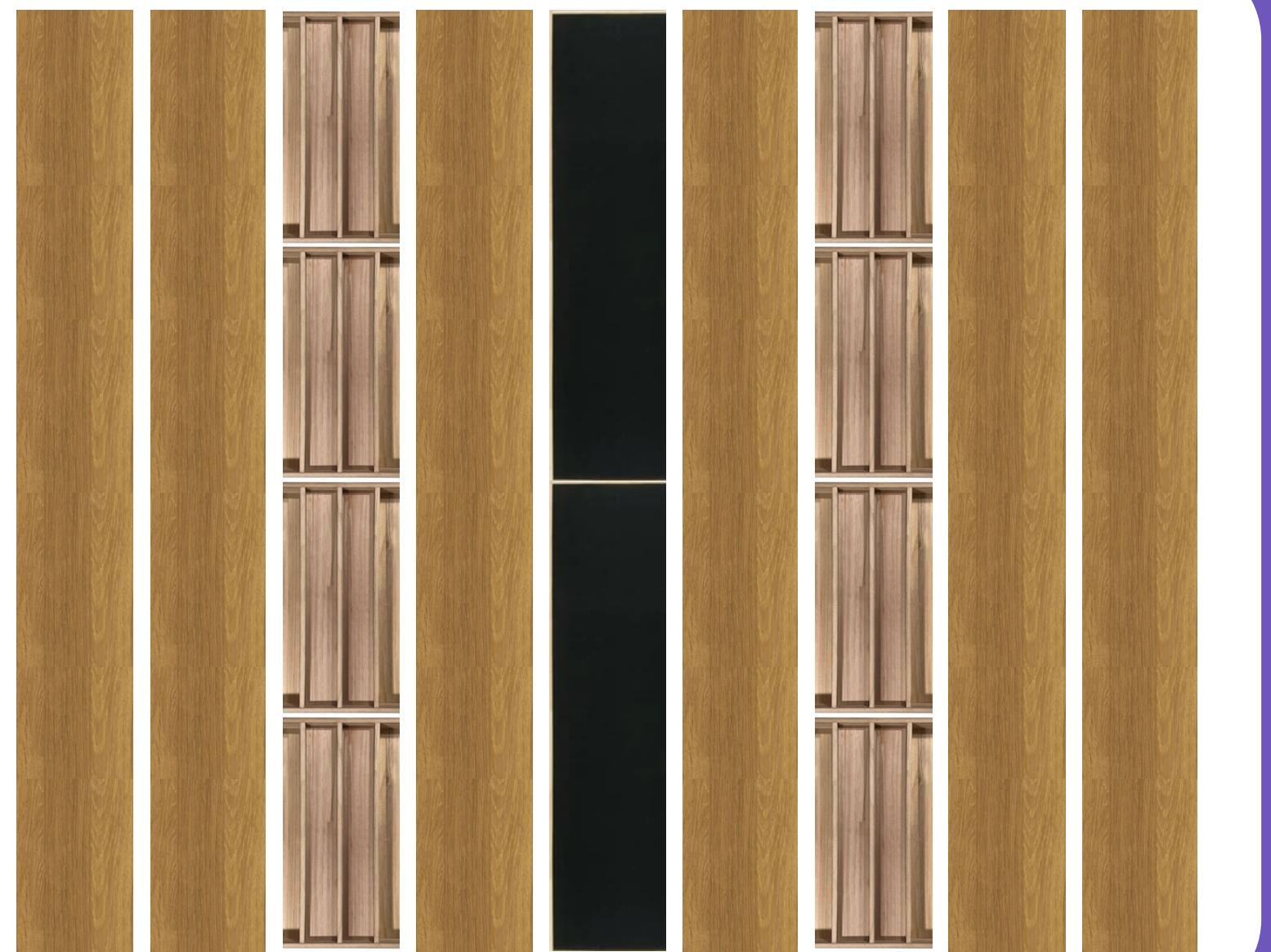


*En la frecuencia central de 500 Hz



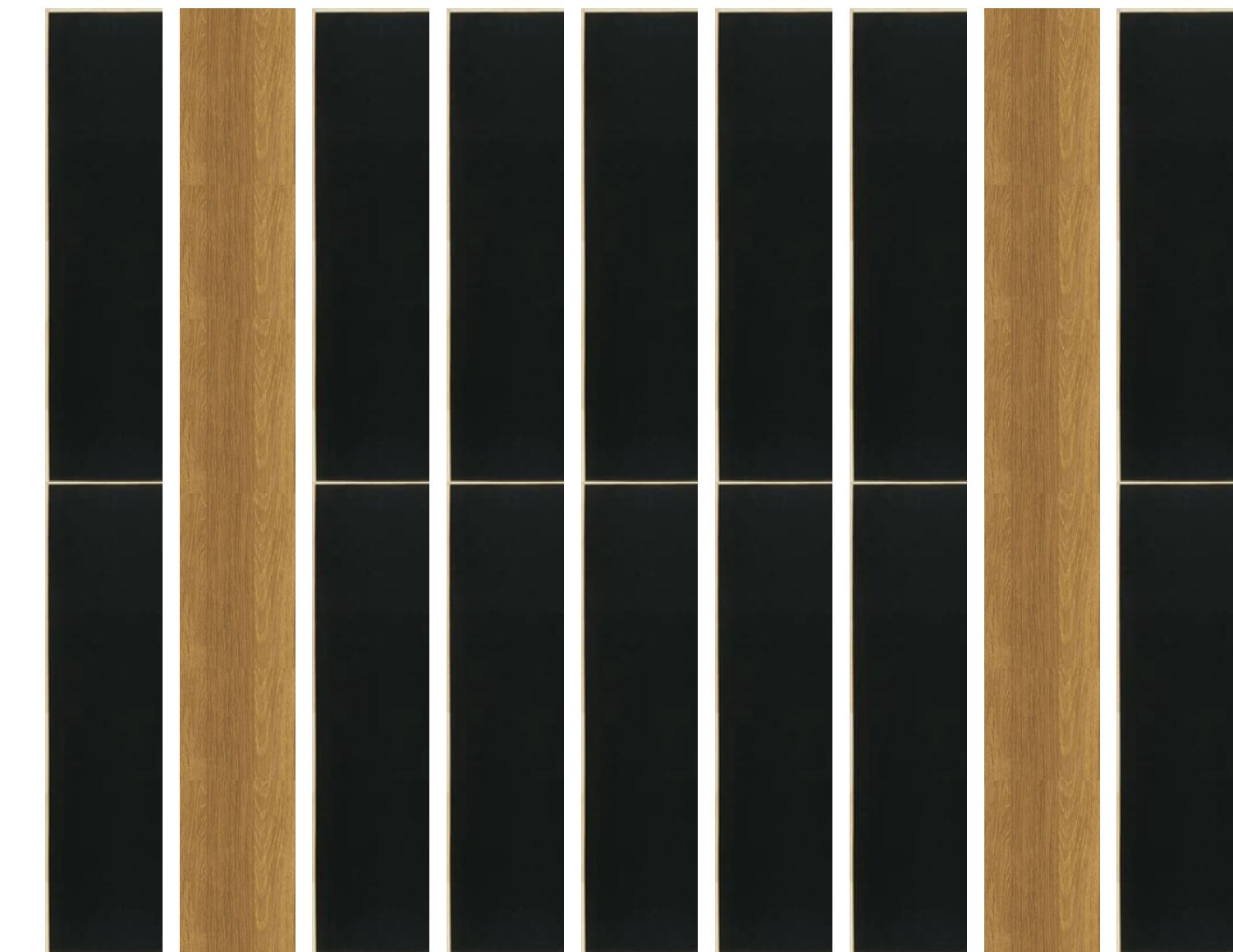
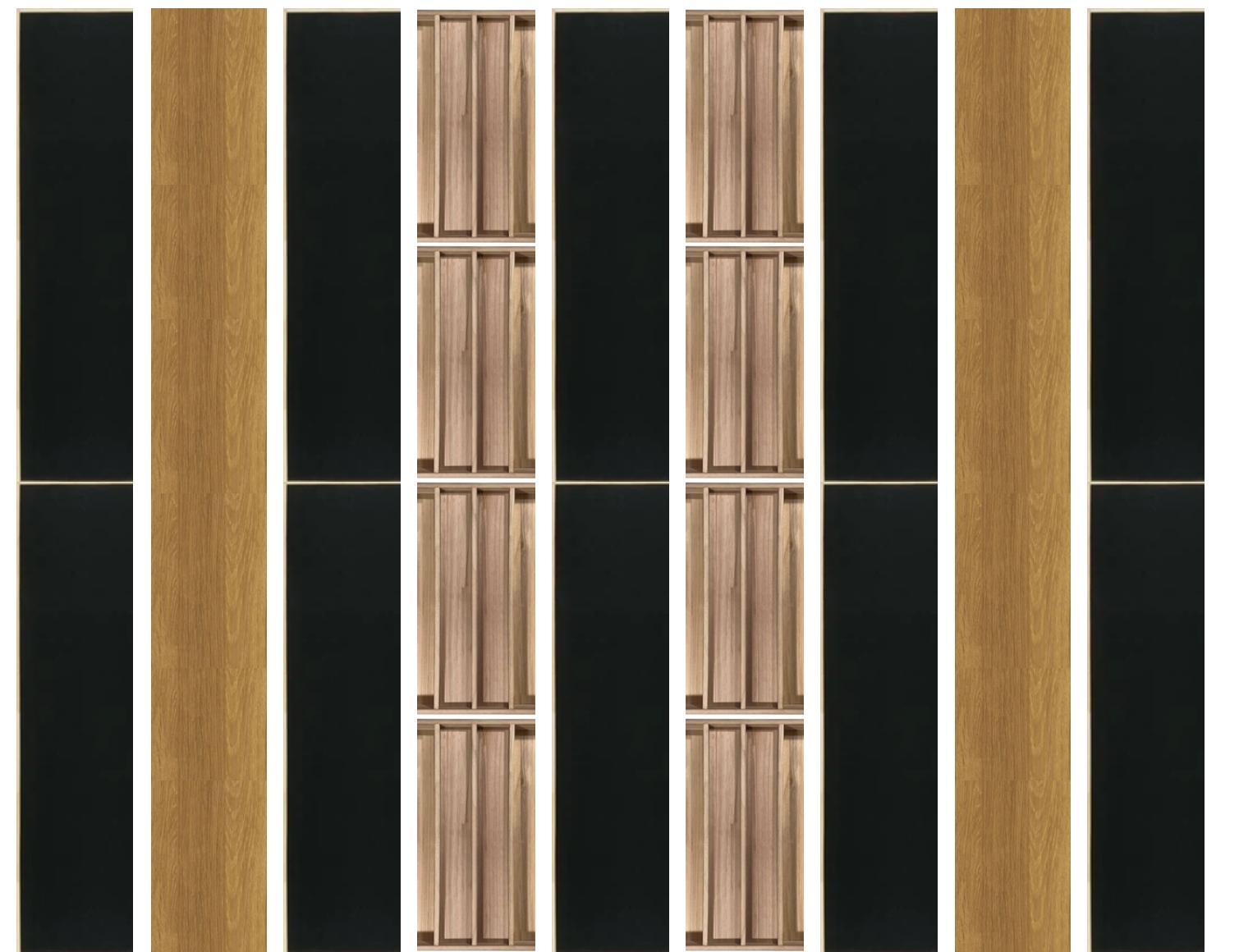
TR de 0.9 a 0.85 → 2 paneles de absorción y 5 paneles de difusión

(1, 1, 3, 1, 2, 1, 3, 1, 1) (3, 1, 3, 1, 2, 1, 3, 1, 1)



TR de 0.9 a 0.7 → 12 paneles de absorción y 2 paneles de difusión

(2, 1, 2, 3, 2, 3, 2, 1, 2) (2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2)



Estrategia de control

Mecanismo de tornillo sínfin y corona

- Descople de inercias

**Uso de PID
Seguimiento de trayectoria**

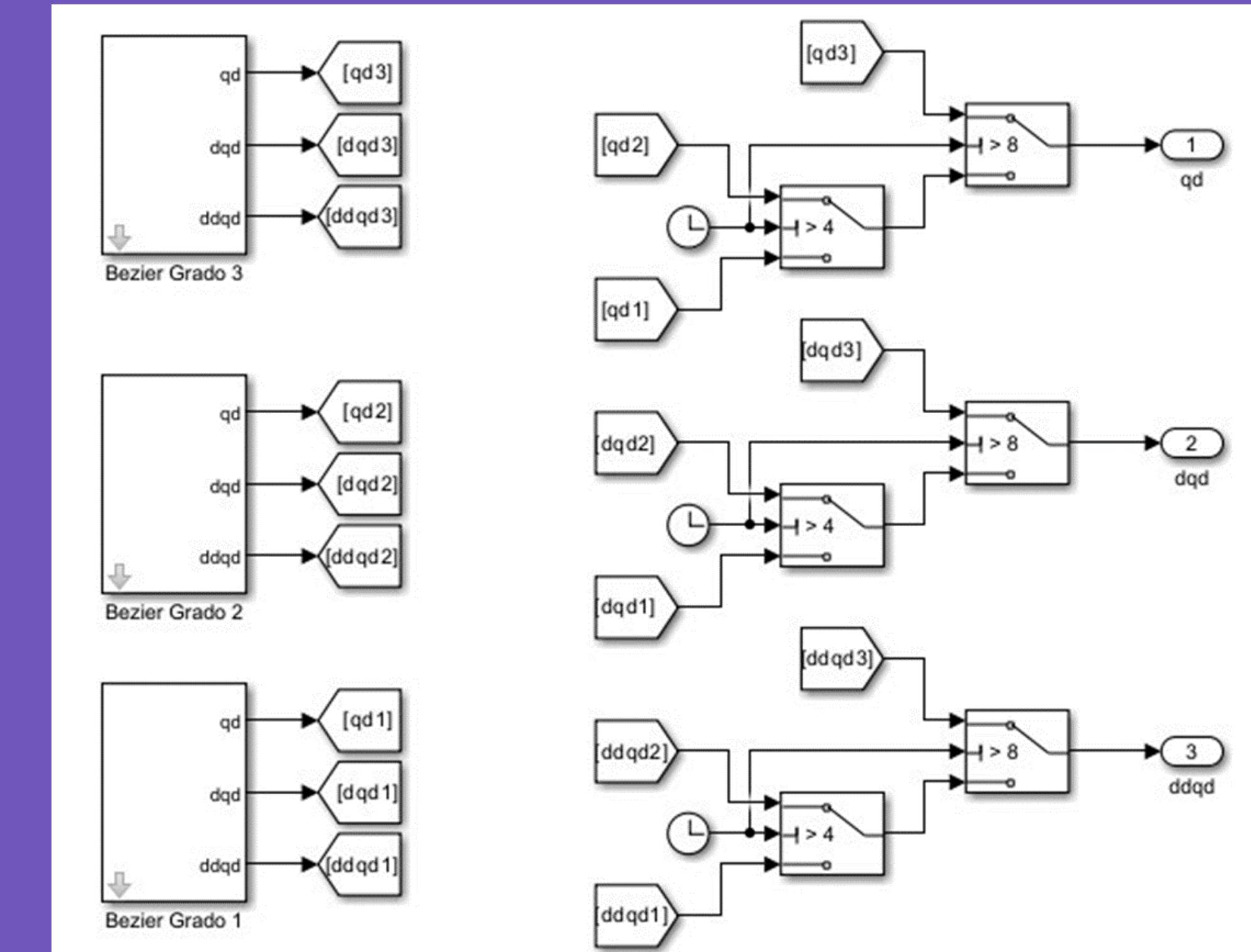
- Polinomio de Bezier (Grado 11)

$$q = \begin{cases} q_0 & t \leq t_0 \\ q_0 + (q_1 - q_0)\mu(\delta) & t_0 \leq t \leq t_1 \\ q_1 & t \geq t_1 \end{cases} \quad \delta = \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$$

$$\mu(\delta) = \delta^6 (\gamma_1 - \gamma_2\delta + \gamma_3\delta^2 - \gamma_4\delta^3 + \gamma_5\delta^4 - \gamma_6\delta^5)$$

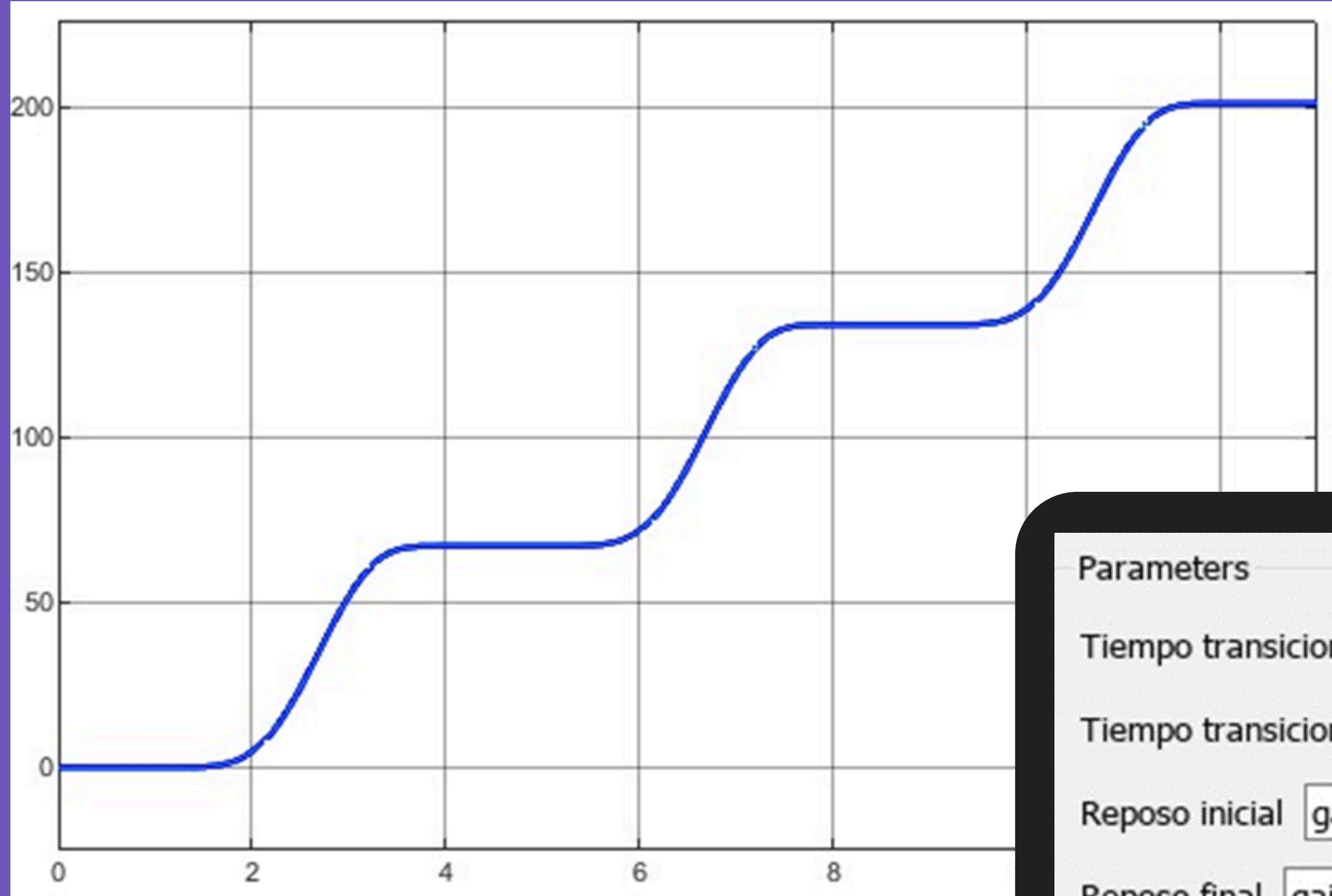
Curvas de aceleración y velocidad suaves.

Interpolación para
cada tercio de
vuelta



Triple interpolación

Trayectoria de la corona



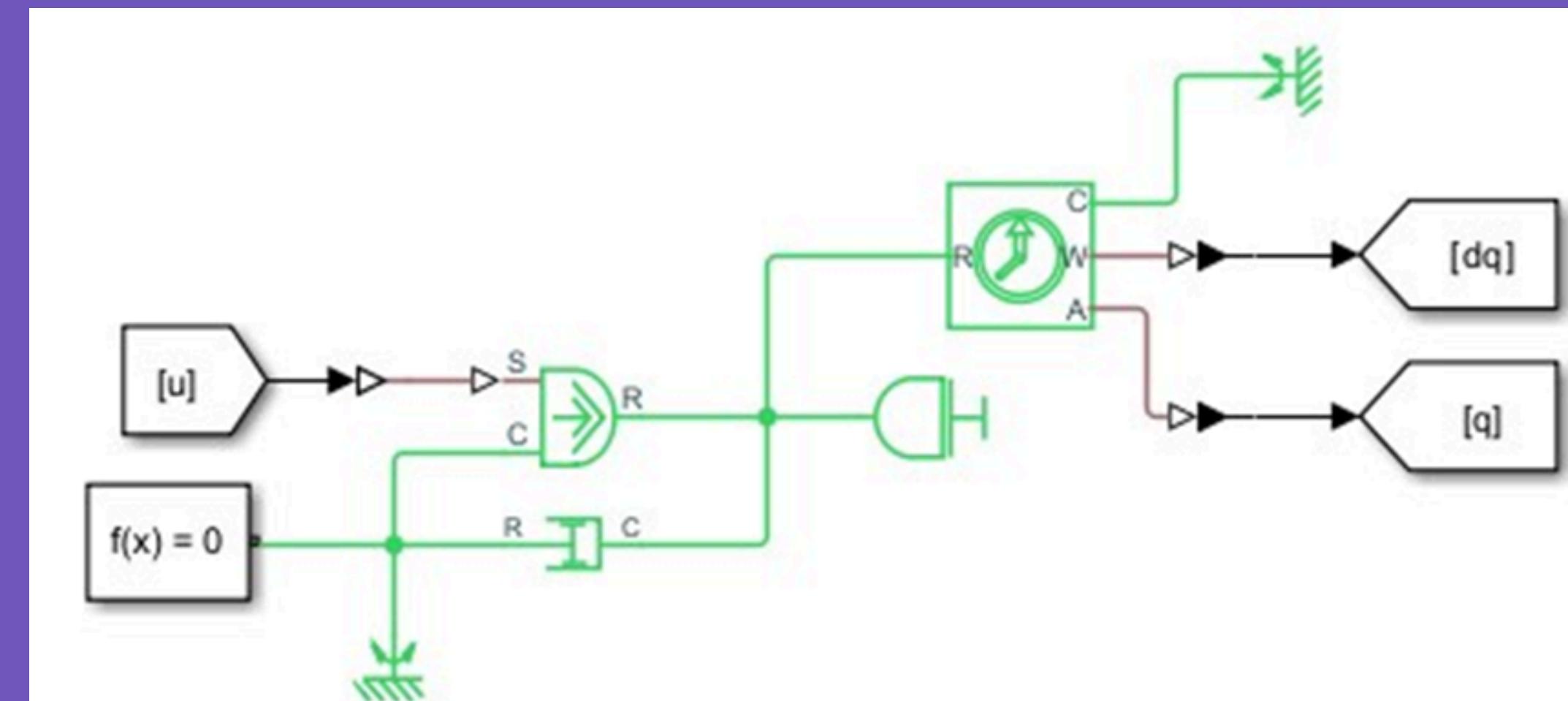
Parámetros

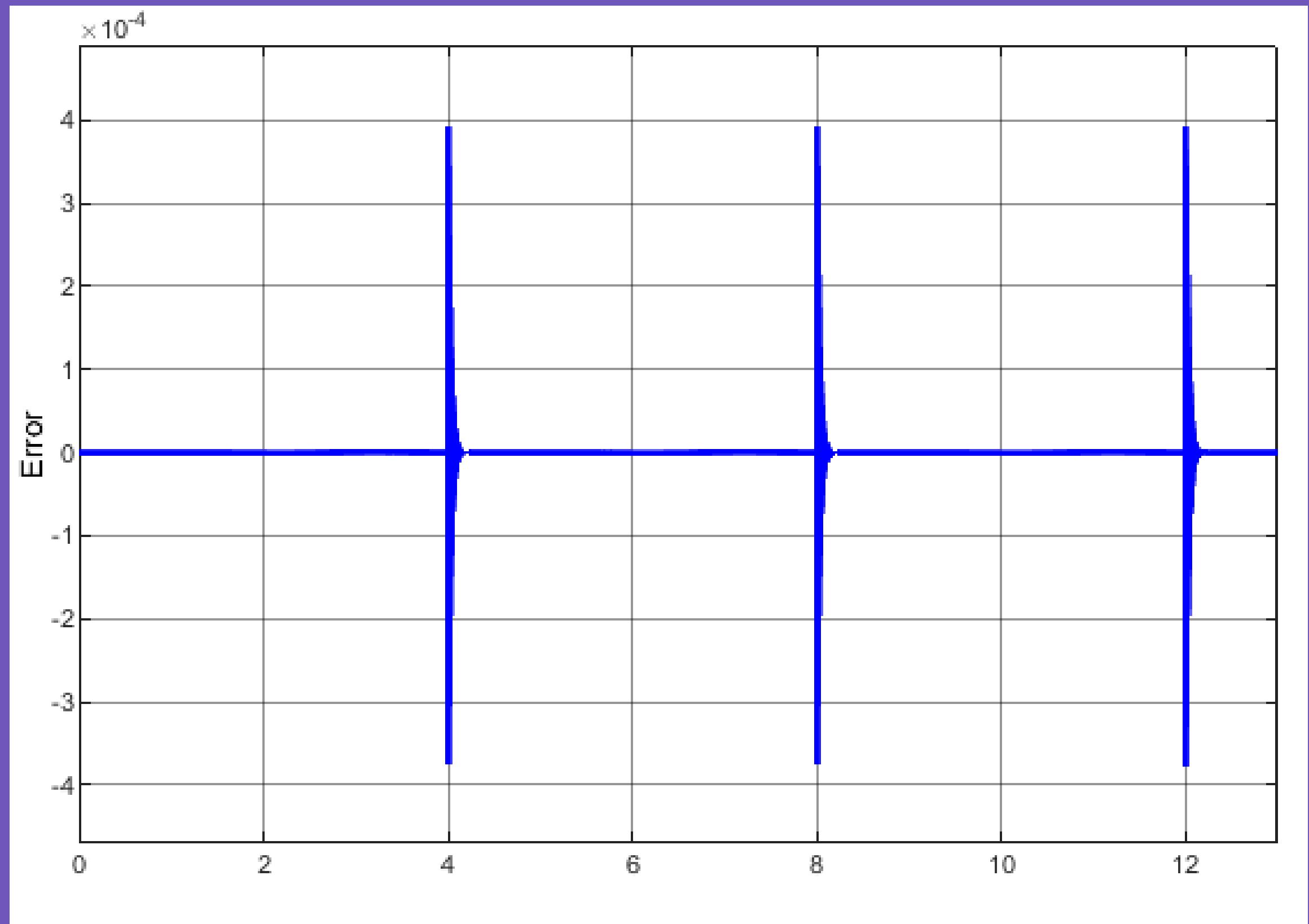
Parameters	
Tiempo transicion 1	$2*t_m+2*t_h$ 8
Tiempo transicion 2	$3*t_m+2*t_h$ 11
Reposo inicial	$gain_trans*4*pi/3$ 134.04
Reposo final	$gain_trans*2*pi$ 201.06

Controlador

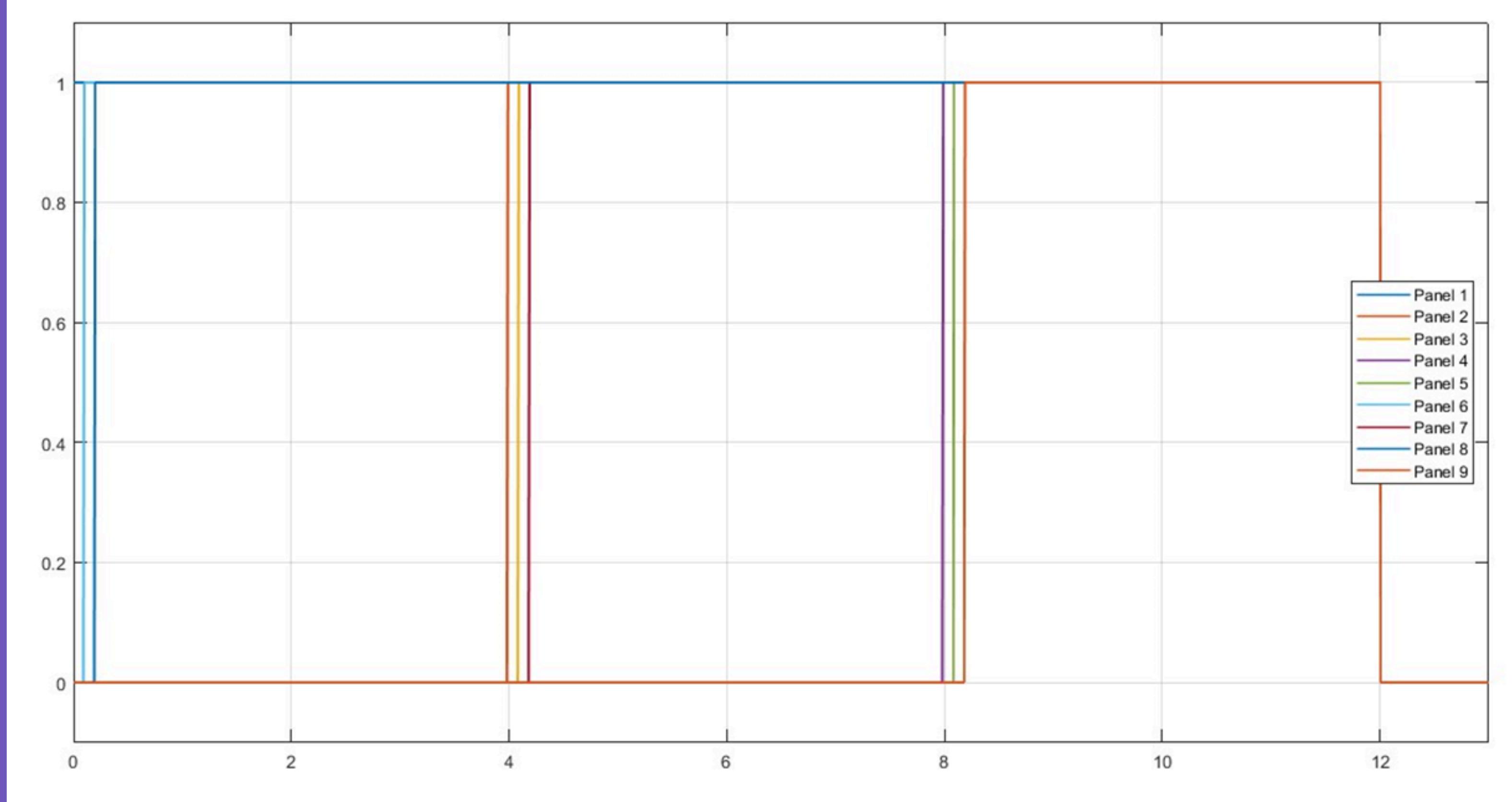
$$u = J \left(-k_p(q - q^*) - k_i \int (q - q^*) dt - k_d \left(\frac{\partial q}{\partial t} - \frac{\partial q^*}{\partial t} \right) \right) + B \frac{\partial q^*}{\partial t} + J \frac{\partial^2 q^*}{\partial t^2}$$

Modelo del sistema





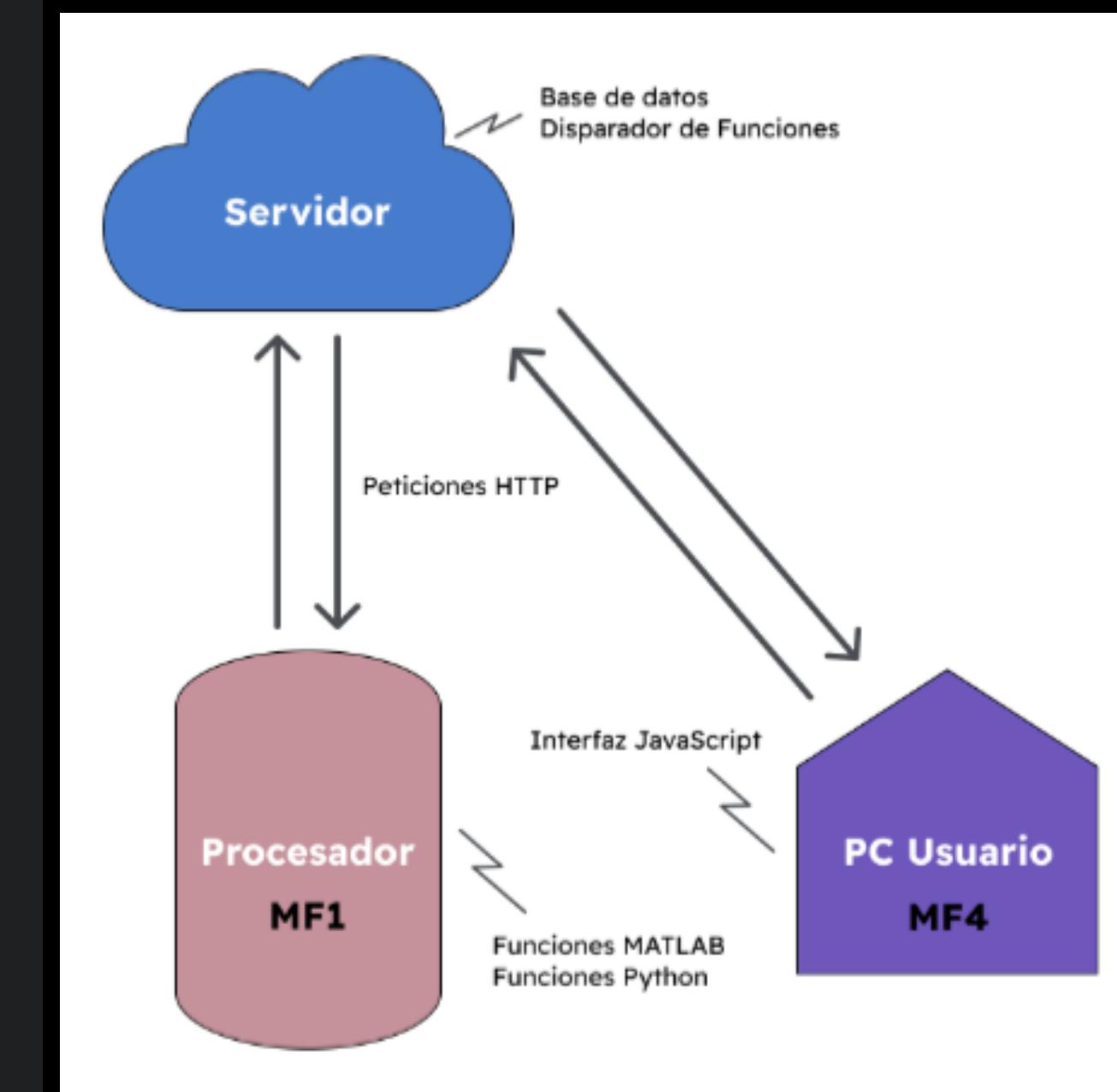
Gráfica del error de trayectoria



Secuencias de disparo de los solenoides para [1, 2, 2, 3, 3, 1, 2, 1, 3]

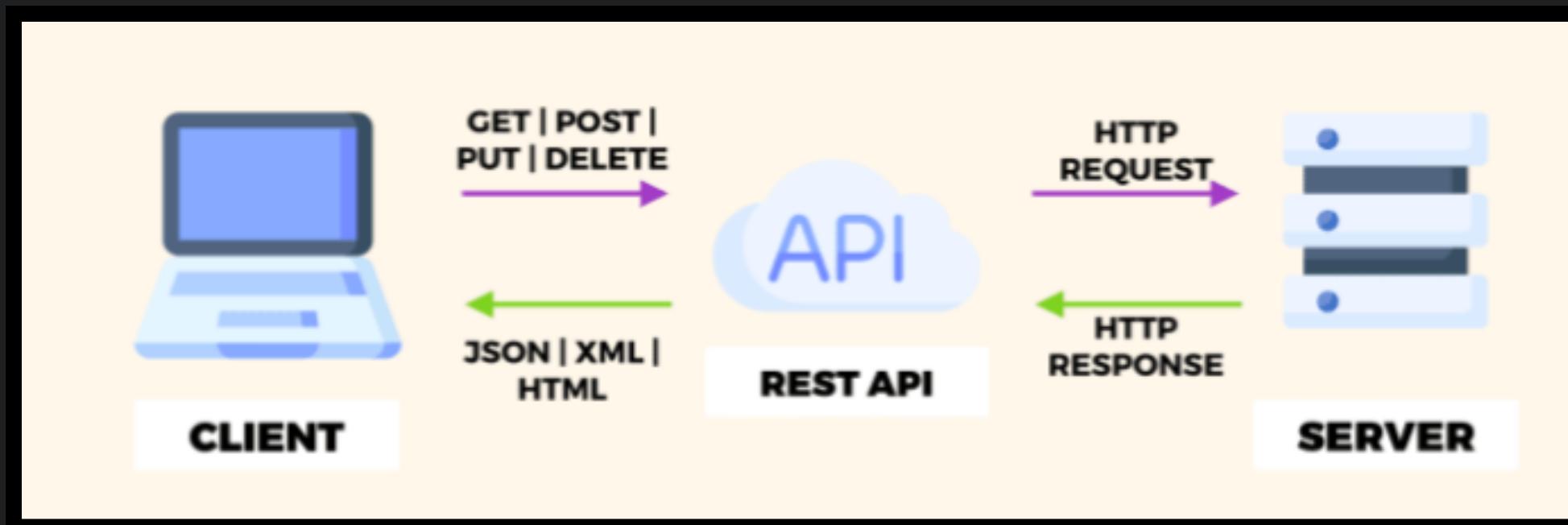
MF1.3 Submódulo de interacciones del sistema

Recibe las instrucciones de acondicionamiento emitidas por el MF4 y dispone de la información para que este muestre los datos pertinentes al usuario



Protocolo de comunicación

Hypertext Transfer Protocol - Secure



Es la base de cualquier intercambio de datos en la Web

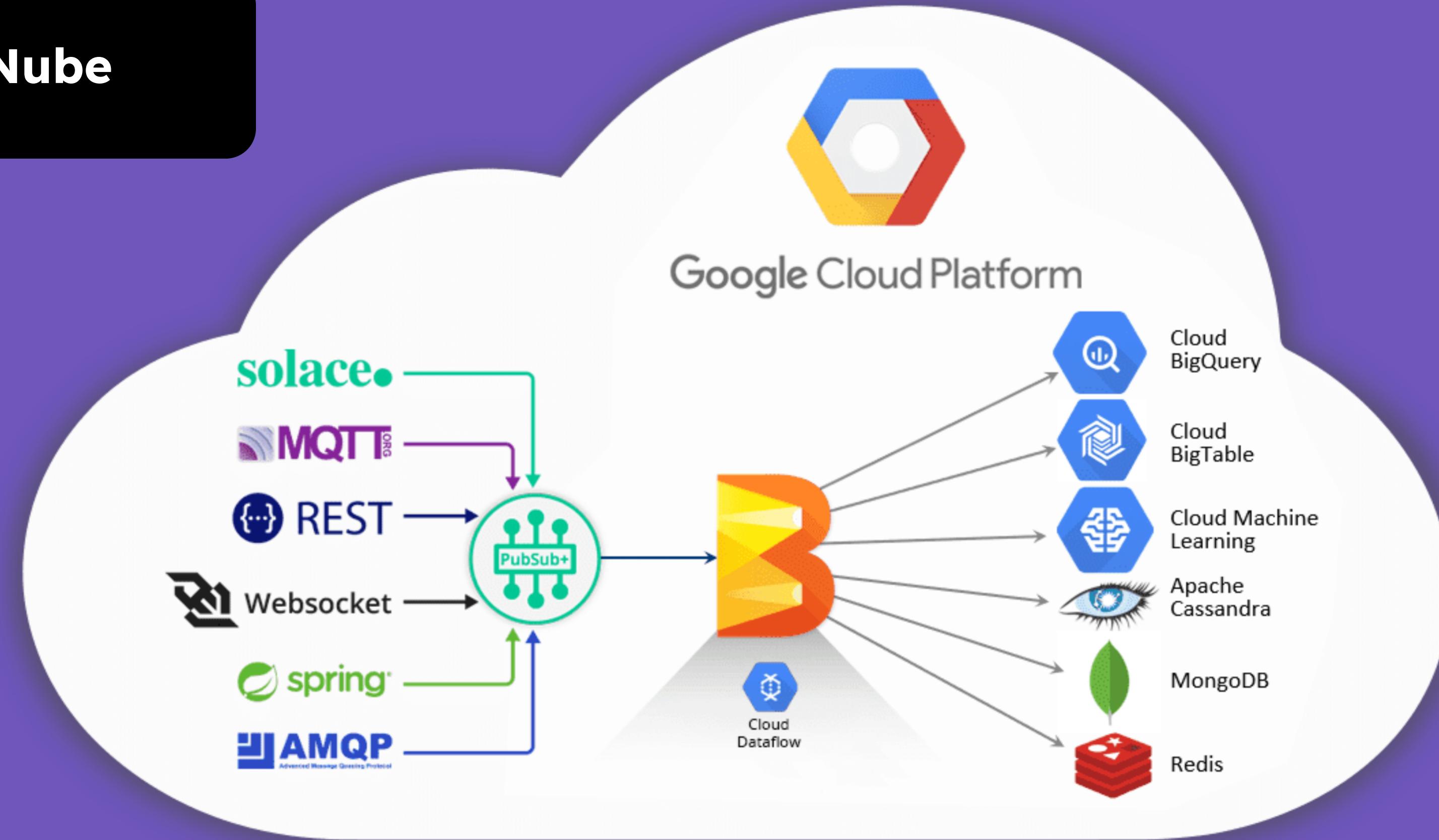
Estructura cliente-servidor

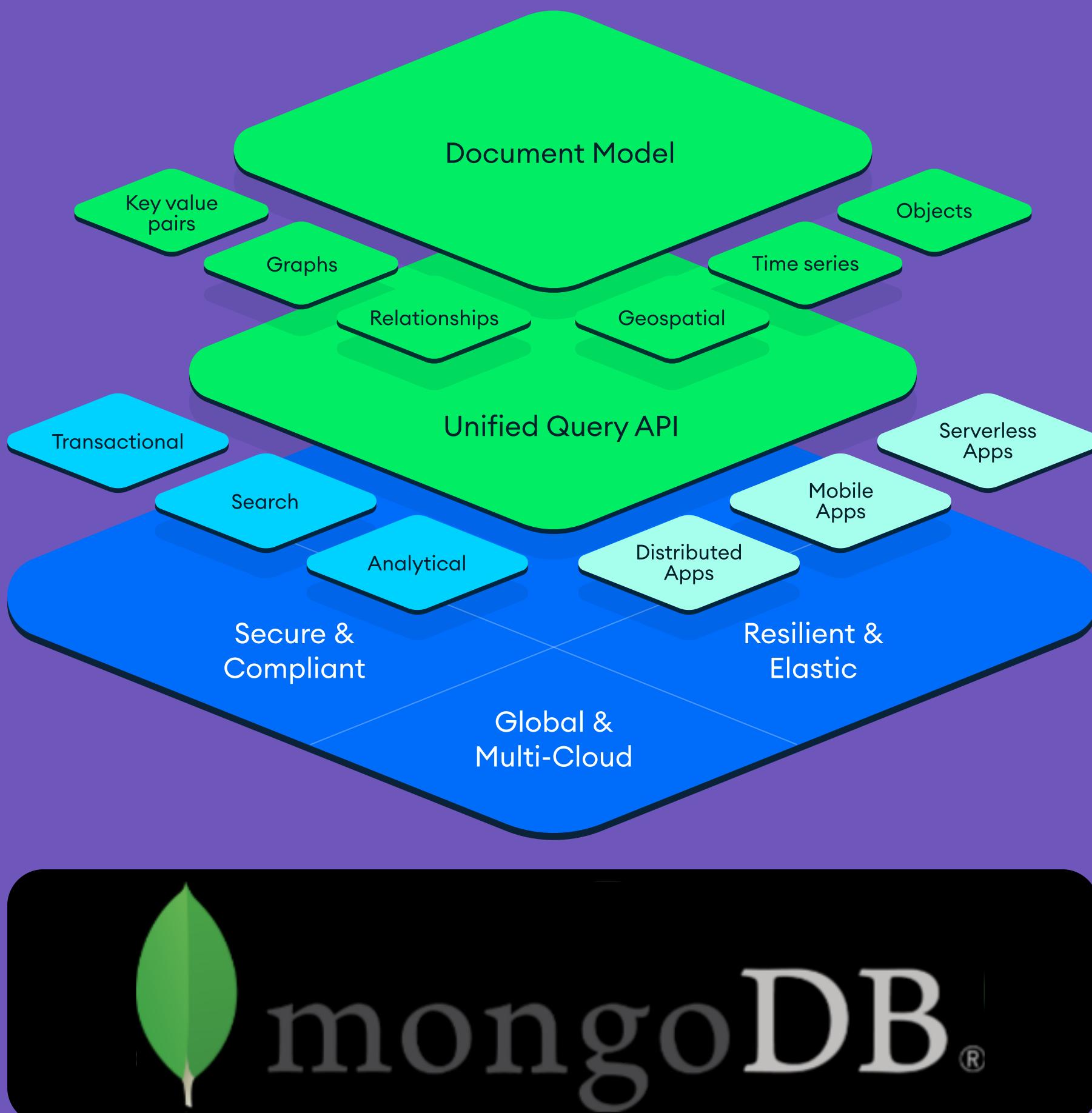
Es una capa encima de TCP/IP

REST API

Interfaz para conectar sistemas basados en el protocolo HTTP

Nube





Base de datos

- **No relacional**
- **Basado en documentos**
- **Auto administrada**
- **Transaccional (velocidad)**
- **Altamente modelable con JavaScript y Python**
- **Multi nube pero con integración directa a GCP**
- **De código abierto**

MF4 - Módulo de interfaz de usuario

MF4. Módulo de interfaz de usuario

Inicio del Programa. El sistema comienza verificando si existen datos de estado previos

Datos de Estado Anteriores

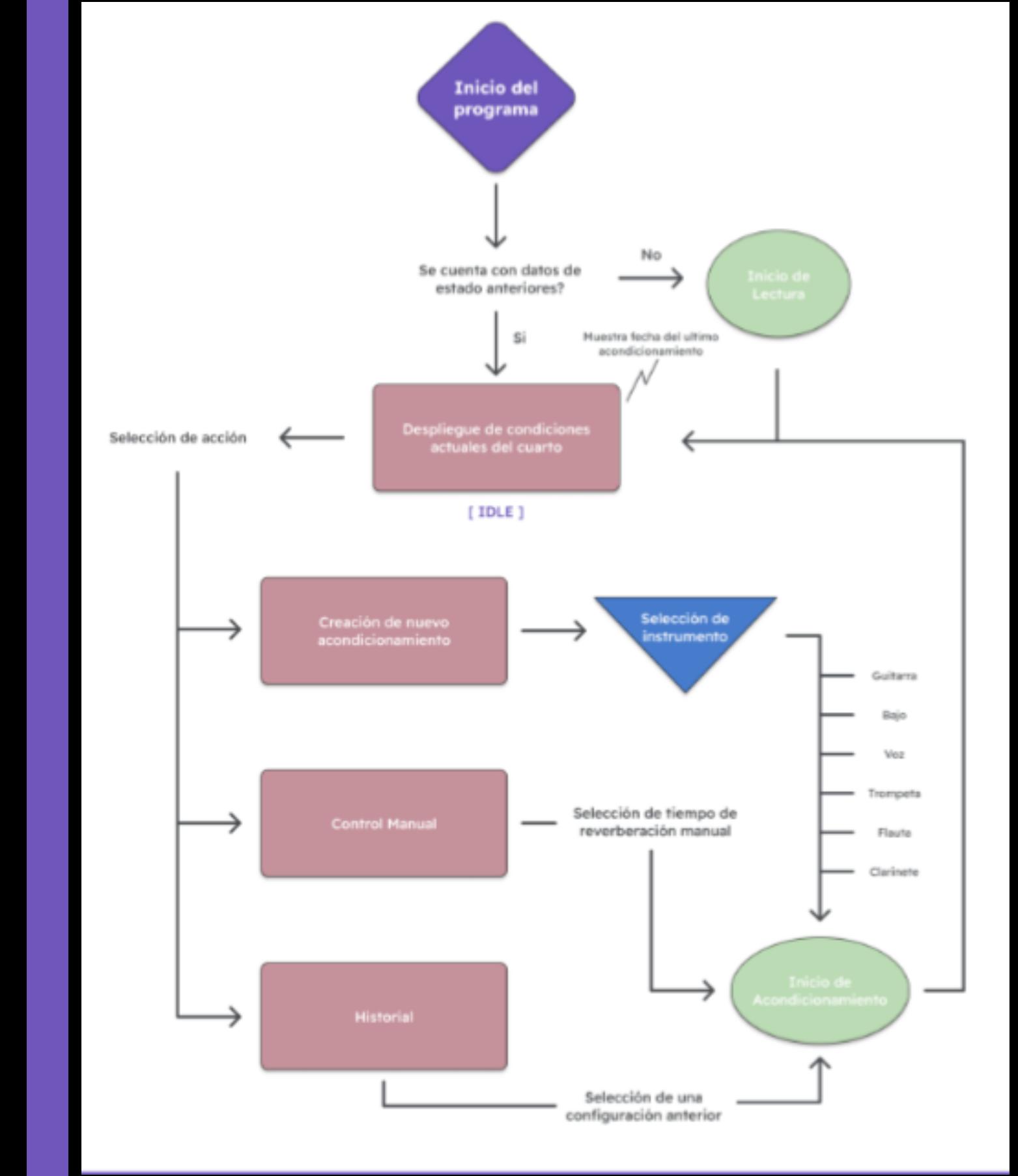
Despliegue de condiciones actuales

Creación de Nuevo Acondicionamiento
Selección del instrumento

Control Manual

Historial

Inicio de acondicionamiento



+ Actual

- Nuevo

Guitarra

Bajo

Voz

Trompeta

Flauta

Clarinete

Saxofón

+ Control manual

+ Histórial

Último acondicionamiento

Jueves 2 de Mayo 2024 3:55 PM

Iniciar
Lectura

Conexión

Conectado



Condiciones actuales

Tiempo de Reverberación

T20: 0.69s

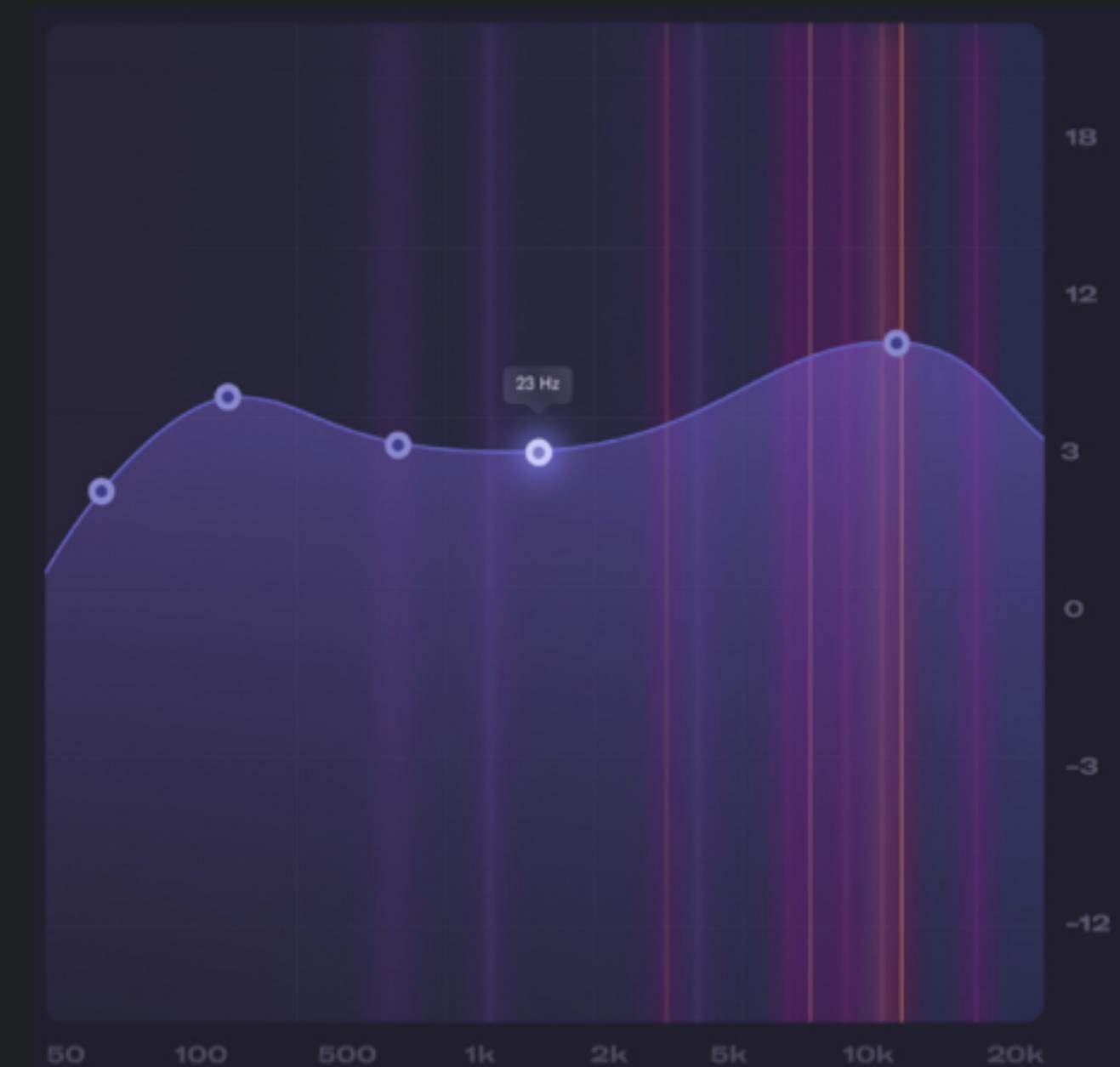
T30: 0.67s

Early Decay Time

Claridad

Definición

Sound Strength



+ Actual

- Nuevo

- Guitarra

- Bajo

- Voz

- Trompeta

- Flauta

- Clarinete

- Saxofón

+ Control manual

+ Historial

Último acondicionamiento

Jueves 2 de Mayo 2024 3:55 PM

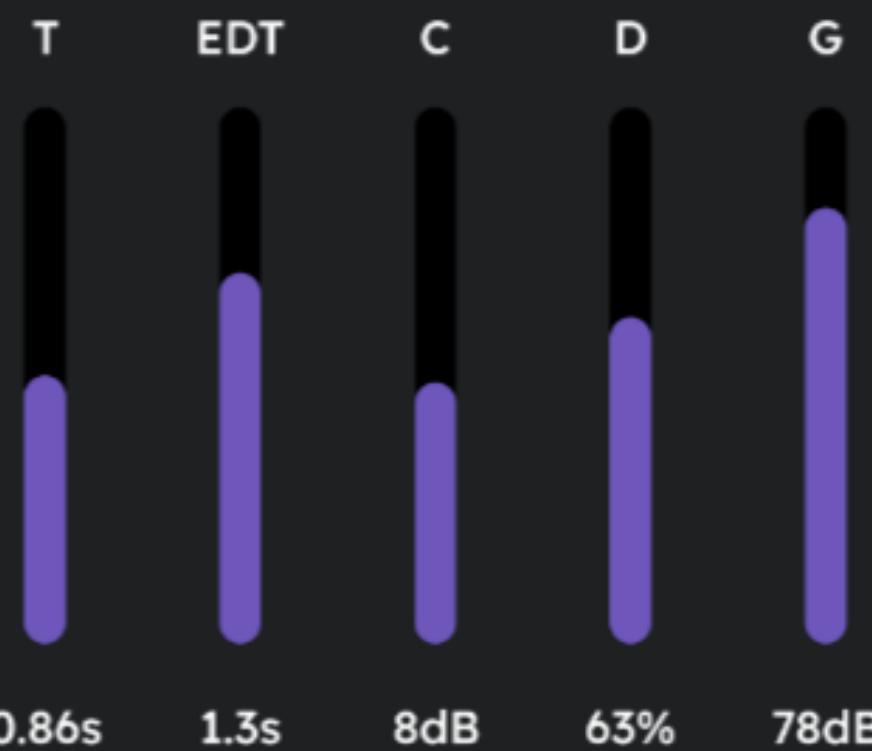
Iniciar
Lectura

Conexión

Falla



Configuración deseada para la guitarra



Iniciar Acondicionamiento

+ Actual

- Nuevo

Guitarra

Bajo

Voz

Trompeta

Flauta

Clarinete

Saxofón

+ Control manual

+ Histórial

Último acondicionamiento

Jueves 2 de Mayo 2024 3:55 PM

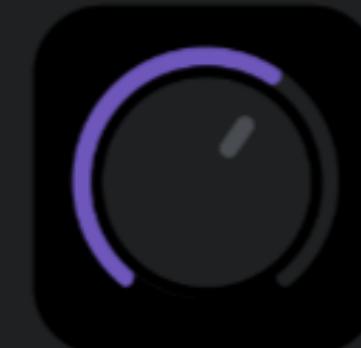
Iniciar
Lectura

Conexión

Estableciendo



Selección de tiempo de reverberación



Ingrese valor deseado

Iniciar Acondicionamiento

+ Actual

- Nuevo

Guitarra

Bajo

Voz

Trompeta

Flauta

Clarinete

Saxofón

+ Control manual

+ Historial

Último acondicionamiento

Jueves 2 de Mayo 2024 3:55 PM

Iniciar
Lectura

Conexión

En espera

Historial de configuraciones



Guitarra

14 de Mayo, 2024
El chido



Piano

12 de Abril, 2024
No usar



Voz

08 de Marzo, 2024
Aczino



Voz

22 de Octubre, 2023
Belinda

Tiempos de reverberación deseados

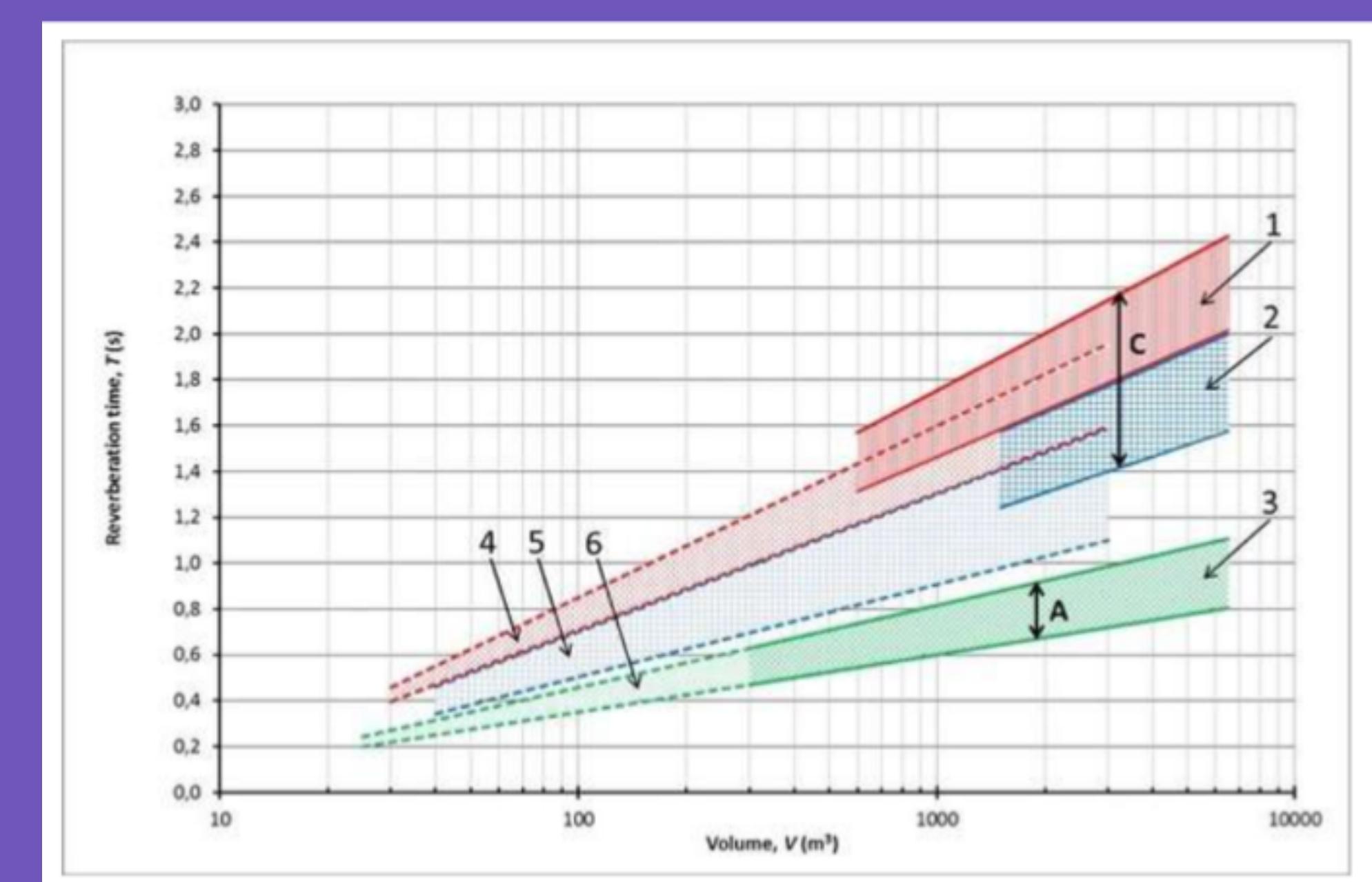
Diferentes instrumentos caen en diferentes intervalos

1 - Música silenciosa

2 - Música fuerte

3 - Música amplificada

*RT de 2.4 a 1.1 es igual a 18 paneles de absorción



Tiempos de reverberación ideal para diferentes tipos de música

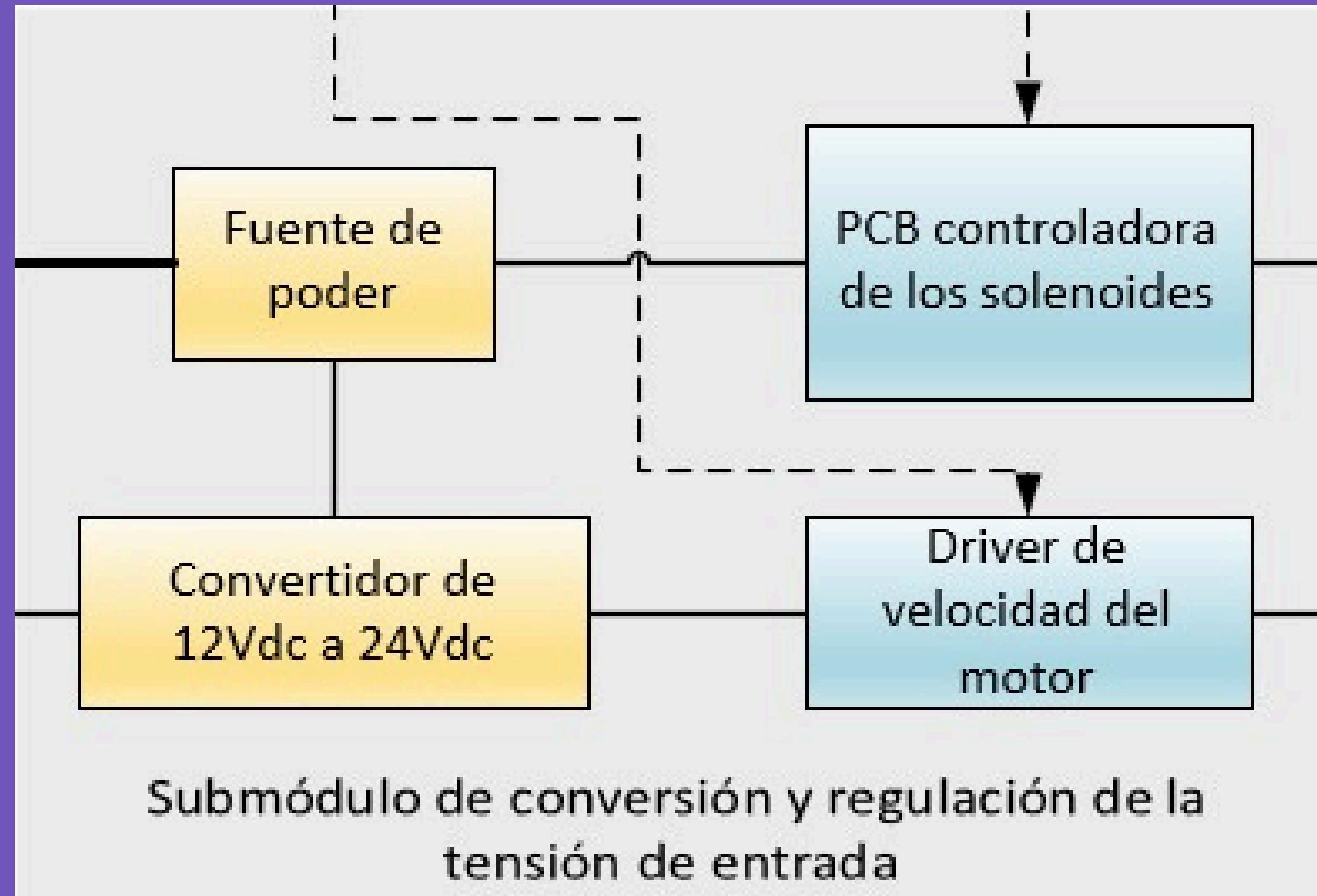
Composición tecnológica de la interfaz



MF5 - Módulo gestor de energía

MF5.1 - Conversión y regulación de la tensión de entrada

Consiste en la elección de la fuente de poder y de los componentes que alimenta.



Elección del motor y solenoide



**XD5D300-
24GN-18S**

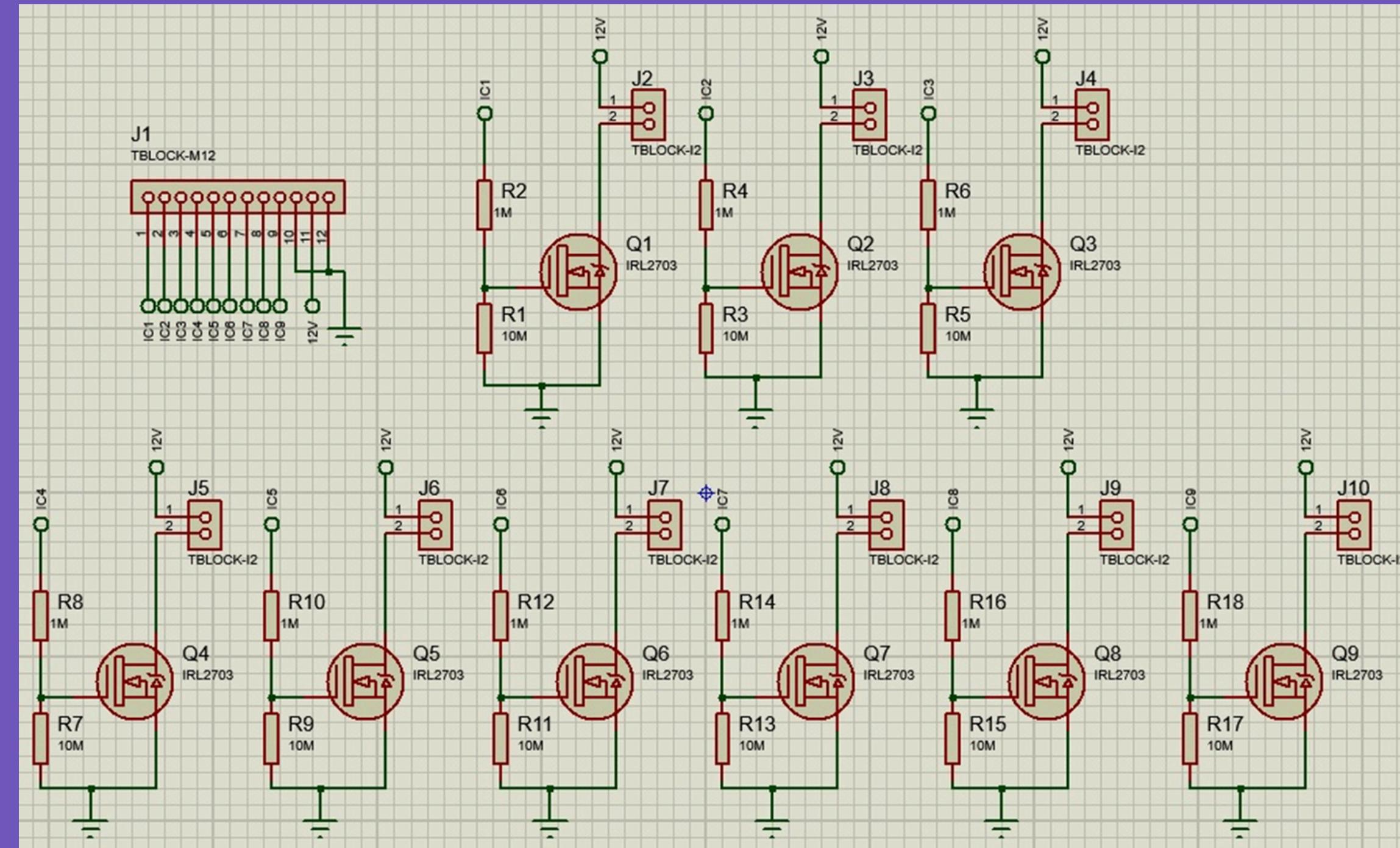
**1800 RPM
0.8336 Nm
24 V
15 A
300 W**



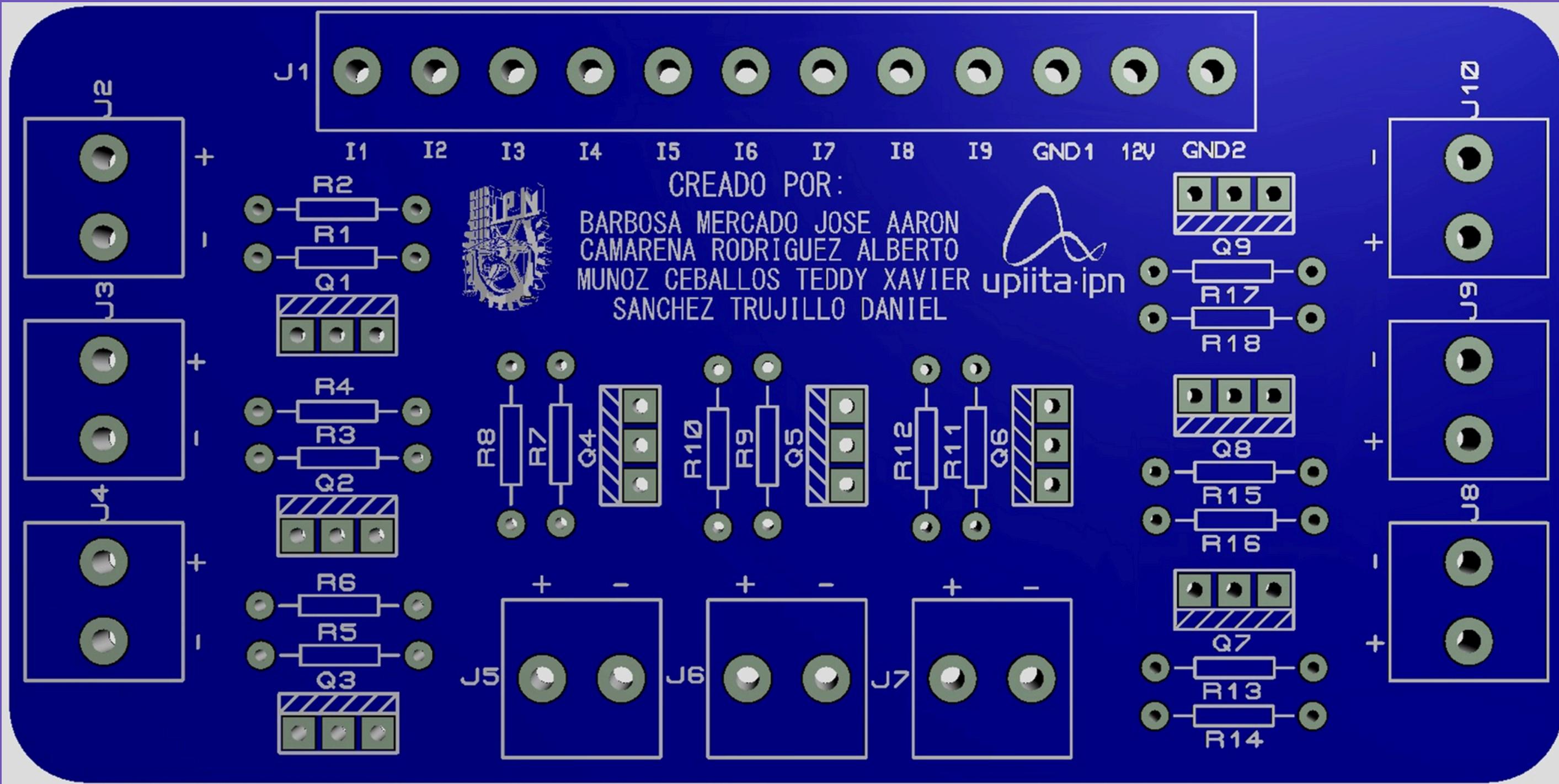
TAU-0630T

**9.82 N
10 mm
12 Vdc
2 A
24 W**

Control de los solenoides



Diseño del PCB



Control de velocidad



Driver del motor



Potenciómetro



360PPR

Encoder (360 PPR)

Alimentación



Fuente de poder (650 W)



Convertidor (12 - 24 V)

MF5.2 - Medición del consumo energético



Peacefair PZEM-022

Características
Puede medir 6 parámetros eléctricos

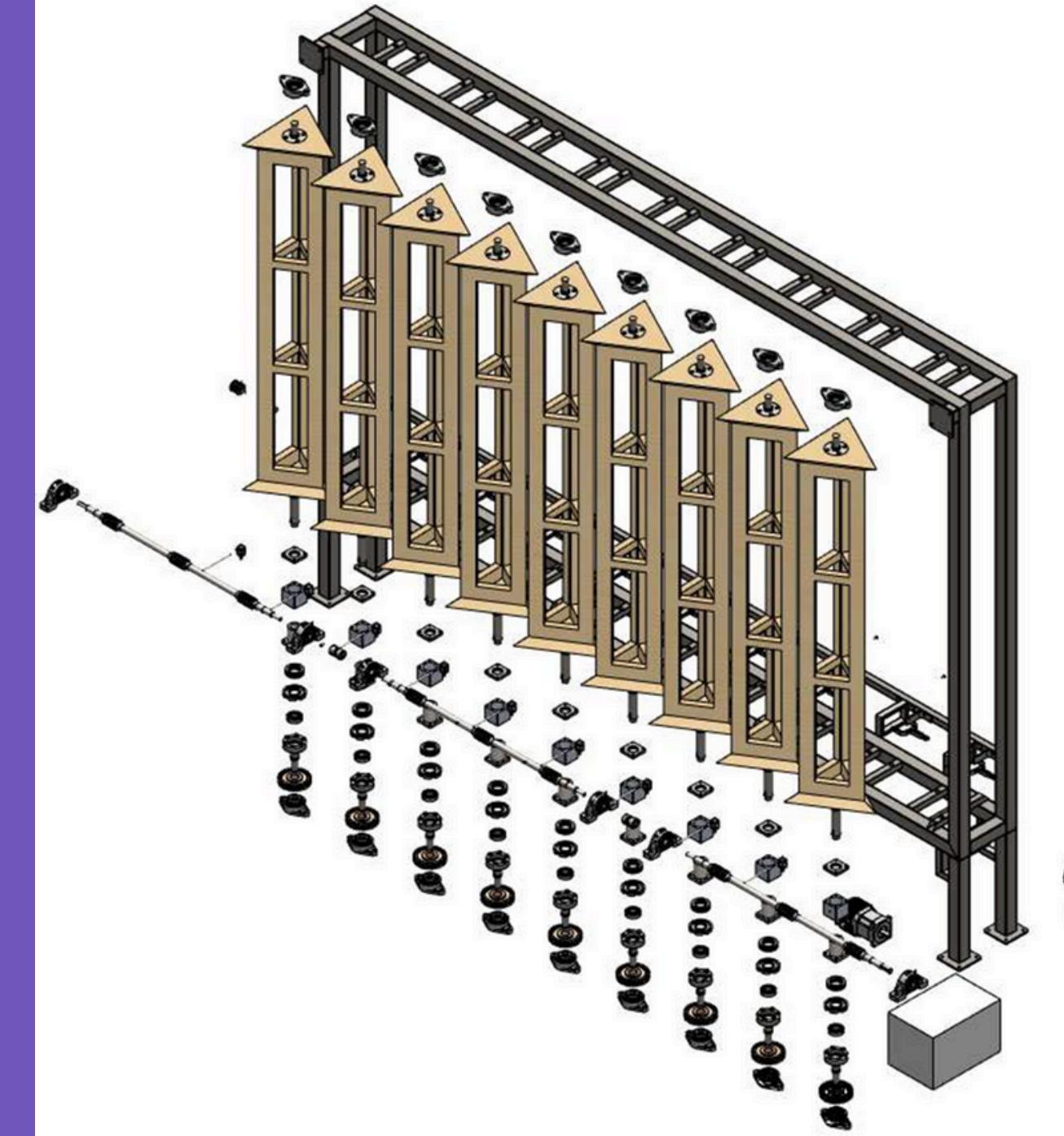
Alarma de sobrecarga
Voltaje: 110V/220V
Potencia: 22kW

CONCLUSIONES

Sistema mecánico

**Cálculo del tornillo sinfín y corona
Diseño del acoplamiento por
solenoides**

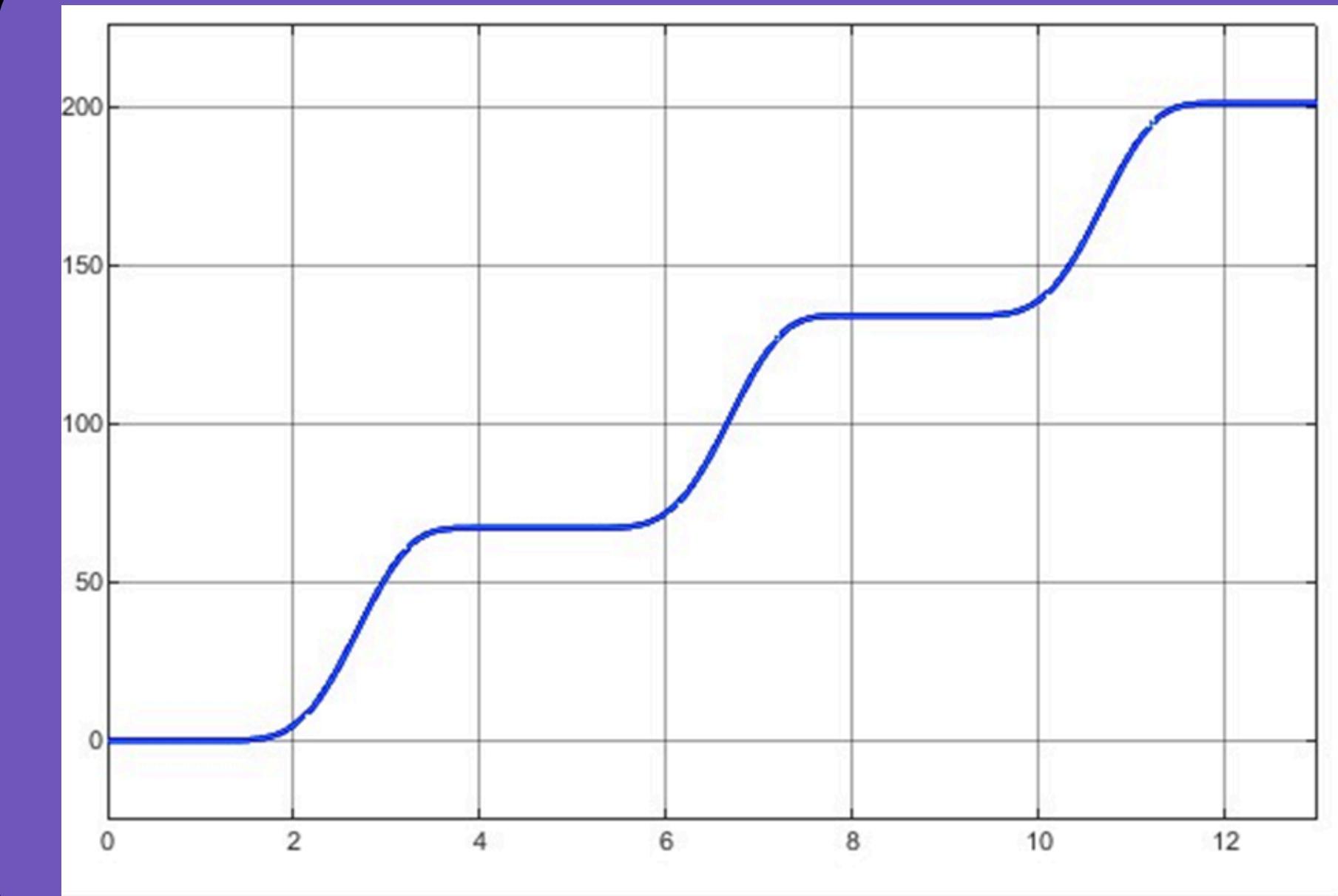
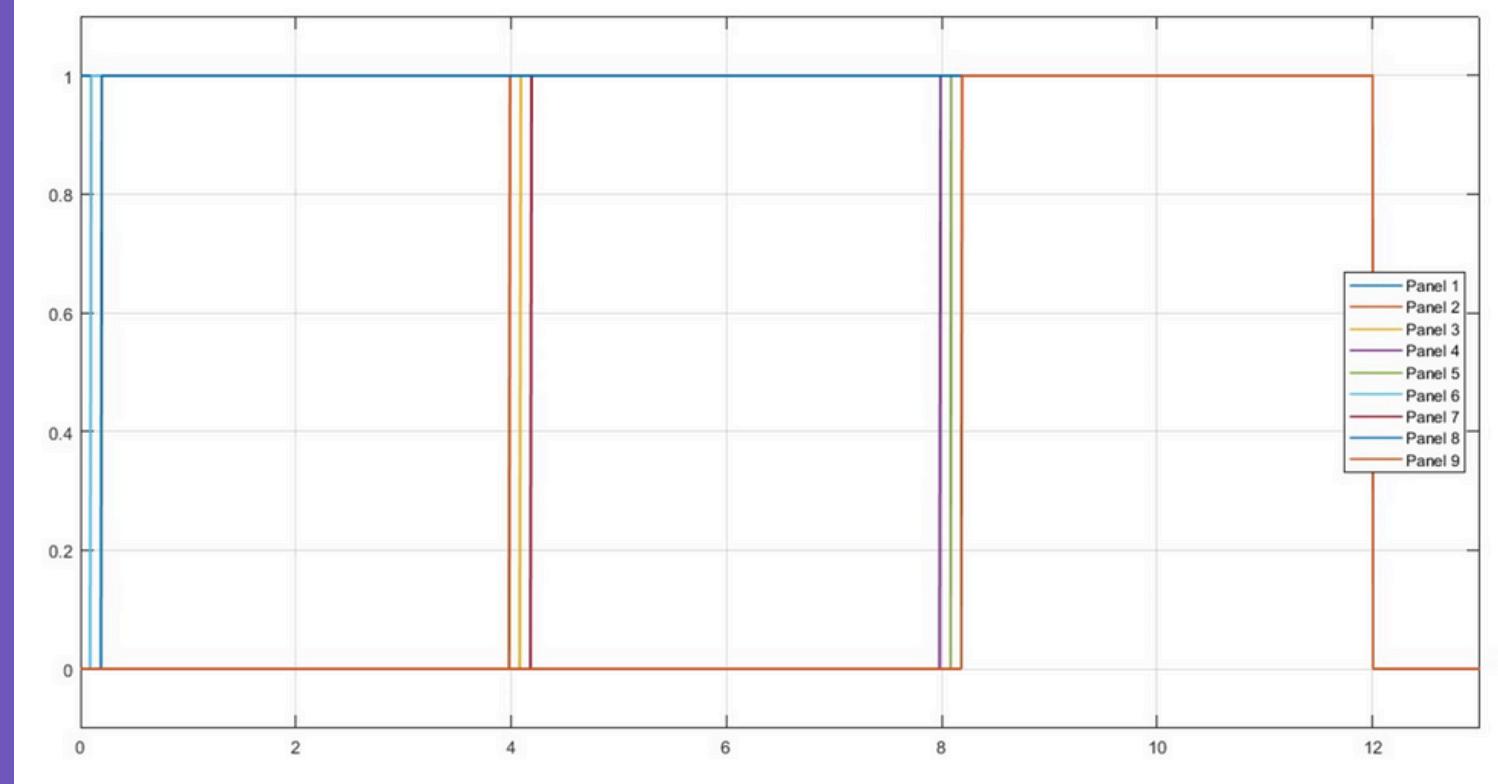
**Cálculo del miembro estructural
Selección de paneles**

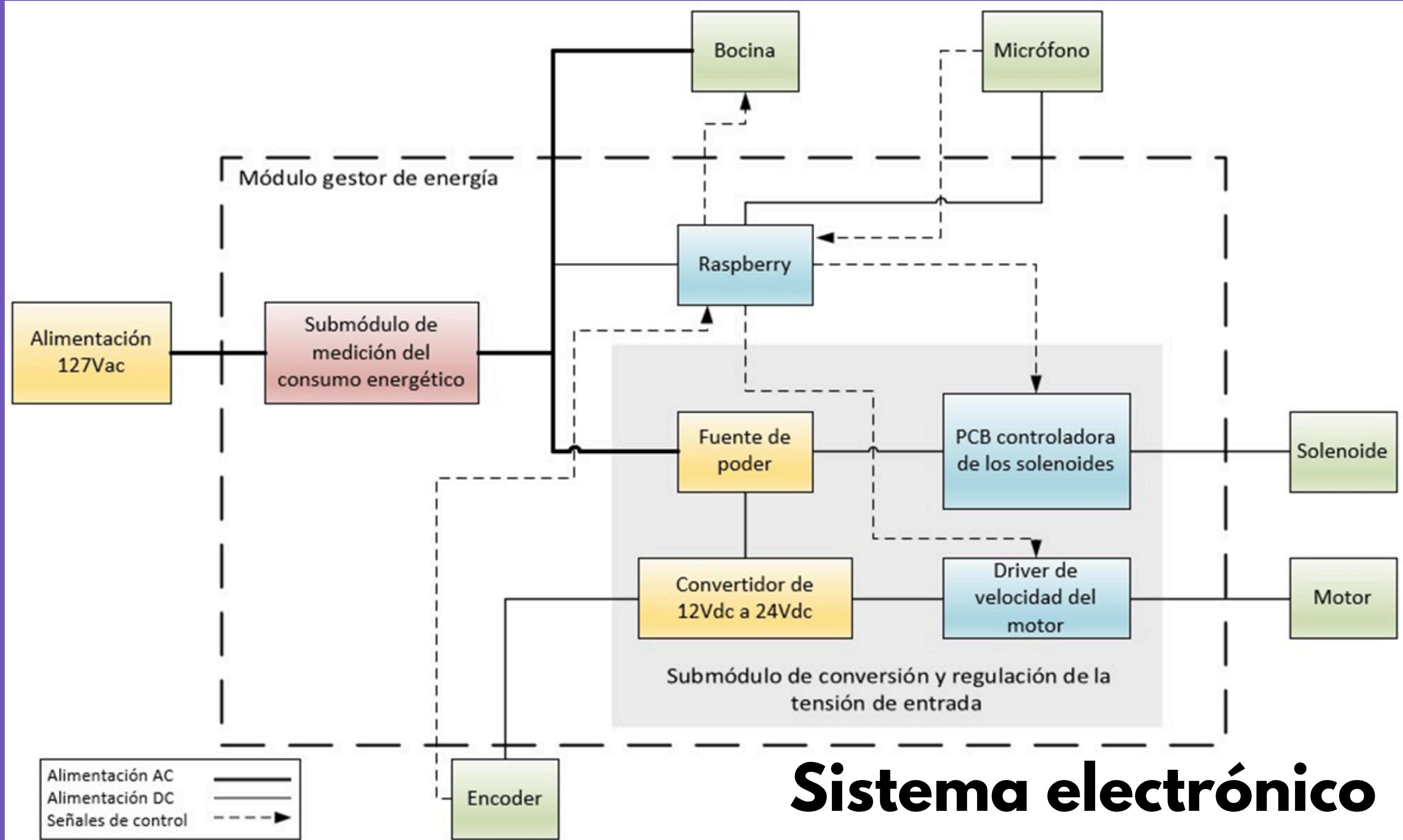


Elemento	Material	S_u	S_y	E
Tornillo sinfín	AISI 1020 CD	420 MPa	350 MPa	205000 MPa
Corona	Bronce fosforado	455 MPa	193 MPa	110000 MPa
Miembro estructural	ASTM A36	400 MPa	250 MPa	200000 MPa

Sistema control

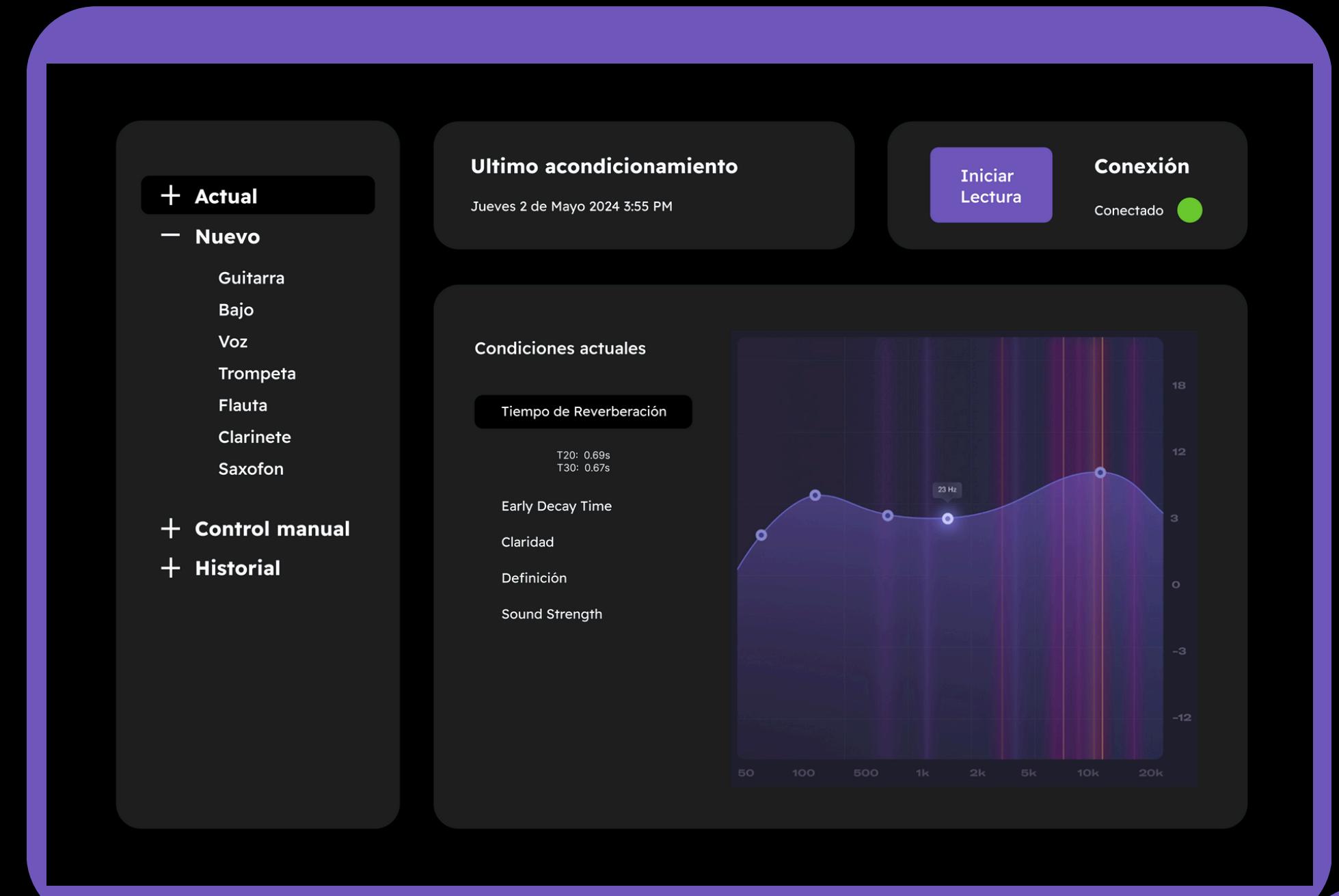
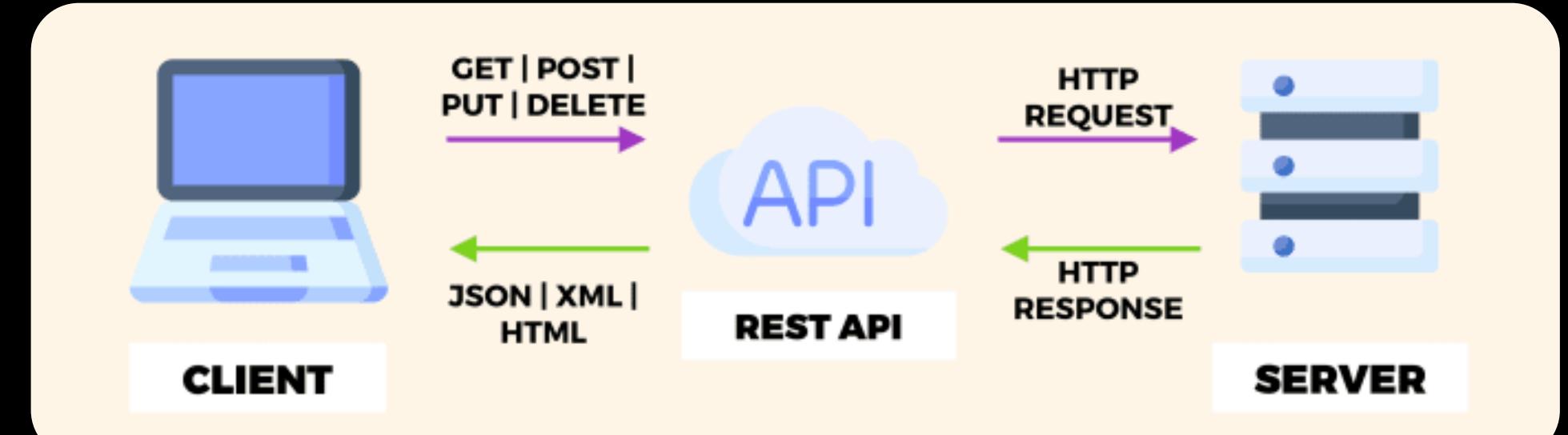
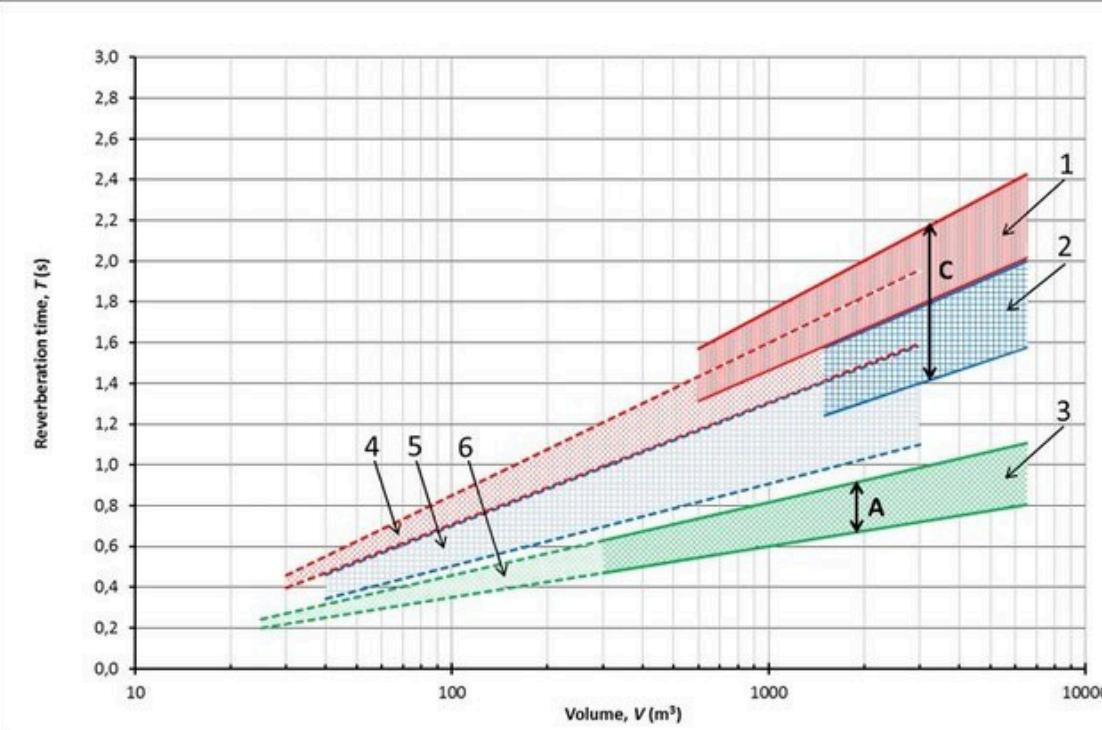
Diseño del controlador PID
Cálculo de la trayectoria
Control de activación de los solenoides
Generación de disposición





Sistema de la interfaz

Diseño de la interfaz
Acústica de los instrumentos
Protocolo de comunicación
Arquitectura en la Nube
Base de datos



Sistema de la acústica

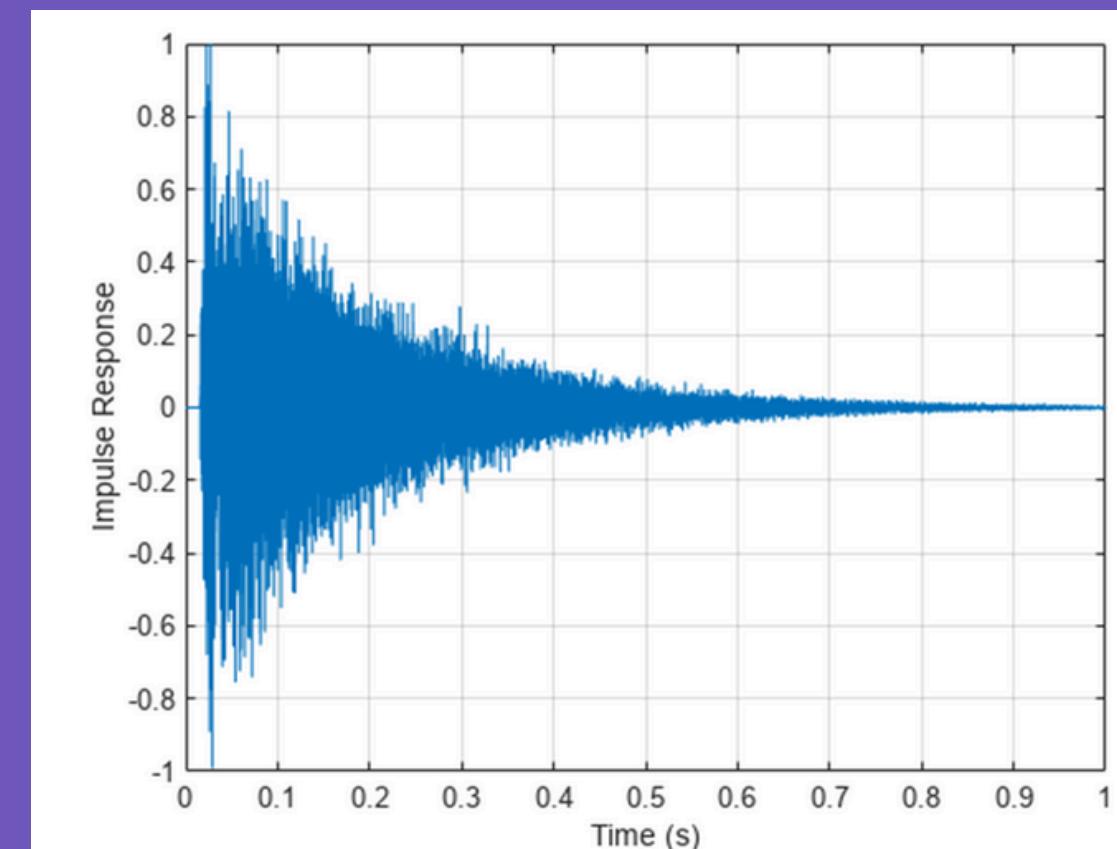
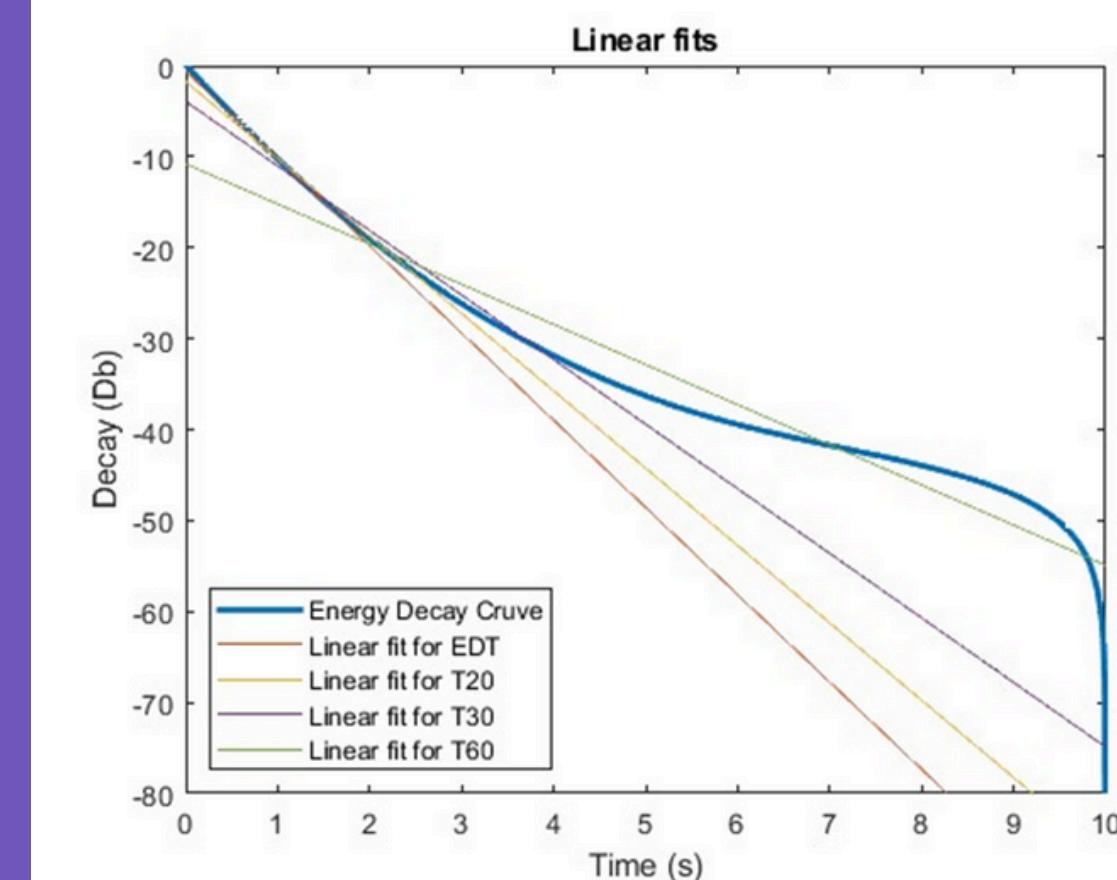
Simulación de la respuesta al impulso

Medición de la respuesta al impulso

Cálculo de los parámetros acústicos

Cálculo de los modos normales de vibración

**EDT, T20, T30, D50,
C50, C80, G, Fs**



Trabajo a futuro

Cronograma TT-2

Detalles			Semana																					
			Evaluaciones:			1			2			3*												
	Cargo	Miembro	Asesor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
1	Implementar un módulo de medición de la respuesta del estudio de audio ante un barrido senoidal a distintas frecuencias para caracterizar su acústica.			R BM																				
				2R CR																				
				C MC																				
				C ST																				
2	Implementación del módulo de modificación de la acústica a través del movimiento de paneles.			R MC																				
				2R BM																				
				C CR																				
				C ST																				
3	Manufacturar e implementar el sistema energético, verificar su funcionamiento.			R ST																				
				2R BM																				
				C MC																				
				C CR																				
4	Implementación de una plataforma de control y monitoreo del sistema para el usuario, que muestre los parámetros acústicos calculados, mediciones, posiciones de los paneles y toda la información asociada.			R CR																				
				2R ST																				
				C MC																				
				C BM																				
5	Validación del sistema mecatrónico en ambientes de prueba.			R MC																				
				2R CR																				
				C BM																				
				C ST																				
6	Desarrollo del informe de TT-2			R ST																				
				2R BM																				
				C MC																				
				C CR																				

Periodo escolar

Inicio: agosto 2024

Final: enero de 2025

Evaluaciones

1	1*	2 - 4 de octubre	*
2	2*	15 - 20 de noviembre	*
3	3*	13 - 15 de enero	*

* En función al calendario (Sujeto a cambios)

Semanas

1	26 - 30	Agosto
2	2 - 6	Septiembre
3	9 - 13	Septiembre
4	16 - 20	Septiembre
5	23 - 27	Septiembre
6	30 - 4	Sep - Oct
7	7 - 11	Octubre
8	14 - 18	Octubre
9	21 - 25	Octubre
10	28 - 1	Oct - Nov
11	4 - 8	Noviembre
12	11 - 15	Noviembre
13	18 - 22	Noviembre
14	25 - 29	Noviembre
15	2 - 6	Diciembre
16	9 - 13	Diciembre
17	16 - 20	Diciembre
18	6 - 10	Enero
19	13 - 17	Enero
20	20 - 24	Enero