



I. Introducción

Importancia

- Fenómeno vibratorio
- Modelos
- Energía cinética
- Energía potencial
- Disipación
- Tipos de excitación
- Tipos de vibración

II. Sistema de 1-GDL

III. Sistemas de N-GDL

IV. Medición / diagnóstico

V. Bibliografía

Importancia del estudio de vibraciones

- Todas las estructuras mecánicas, son susceptibles de experimentar problemas de vibraciones (**resonancia**).
- Los esfuerzos dinámicos producidos por las vibraciones, además de ser alternativos (**fatiga**), pueden ser varias veces mayores que los esfuerzos estáticos (**amplificación dinámica**).
- Los problemas de vibración generalmente se traducen en altos costos de operación y mantenimiento debido al desgaste prematuro y/o la falla.
- Un sistema mecánico bien diseñado puede vibrar en un rango específico sin producir mayores problemas.
- Las mediciones de vibración pueden dar información sobre la condición de los equipos y pueden ayudar a diagnosticar o evitar una falla.



I. Introducción

Importancia

Fenómeno vibratorio

- Modelos
- Energía cinética
- Energía potencial
- Disipación
- Tipos de excitación
- Tipos de vibración

II. Sistema de 1-GDL

III. Sistemas de N-GDL

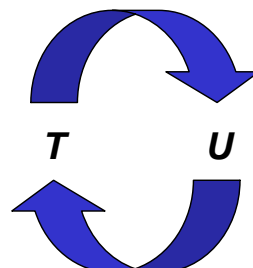
IV. Medición / diagnóstico

V. Bibliografía

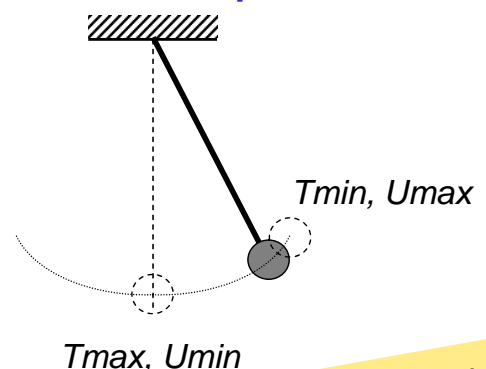
Descripción del fenómeno vibratorio (i)

Un sistema mecánico es cualquier sistema material que tenga masa (acumula energía cinética) y rigidez (acumula energía potencial), e.g. equipos rotativos, sistemas de tuberías, estructuras civiles, etc.

La vibración de un sistema mecánico se puede entender como una transferencia de energía cinética (T) en energía potencial (U).



Péndulo simple





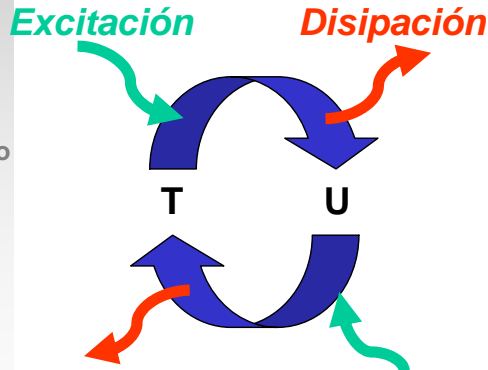
Descripción del fenómeno vibratorio (ii)

- I. Introducción
 - Importancia
 - Fenómeno vibratorio
 - Modelos
 - Energía cinética
 - Energía potencial
 - Disipación
 - Tipos de excitación
 - Tipos de vibración

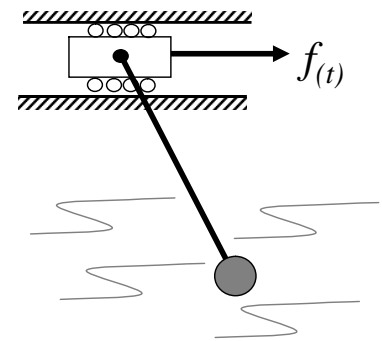
Disipación cualquier mecanismo que extrae energía del sistema, e.g. roce seco, amortiguación viscosa, etc.

Excitación cualquier mecanismo que introduce energía al sistema e.g. fuerzas armónicas, desbalance, choques, etc.

- II. Sistema de 1-GDL
- III. Sistemas de N-GDL
- IV. Medición / diagnóstico
- V. Bibliografía



Péndulo con base móvil



Modelos utilizados en el estudio de vibraciones (i)

- I. Introducción
 - Importancia
 - Fenómeno vibratorio
 - Modelos
 - Energía cinética
 - Energía potencial
 - Disipación
 - Tipos de excitación
 - Tipos de vibración

Modelos de 1 grado de libertad (1-gdl), simplificación donde toda la masa del sistema se concentra en una partícula y toda la rigidez en un resorte (descritos por una Ec. diferencial ordinaria)

Modelos discretos de N-gdl, modelos simplificados donde se utilizan varios modelos de 1-gdl vinculados entre sí, con el fin de simular mejor el sistema (descritos por un sistema de Ecs. diferenciales ordinarias)

Modelos continuos, modelos que simulan perfectamente el comportamiento del sistema usando las ecuaciones de mecánica del continuo (descritos por una Ec. diferencial en derivadas parciales)

Modelos continuos discretizados, modelos numéricos que transforman la Ec. diferencial en derivadas parciales en un sistema de Ecs. diferenciales ordinarias).

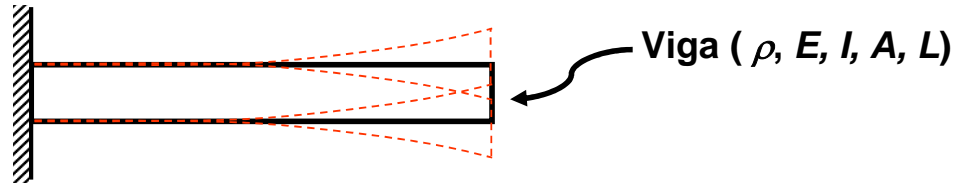
- II. Sistema de 1-GDL
- III. Sistemas de N-GDL
- IV. Medición / diagnóstico
- V. Bibliografía



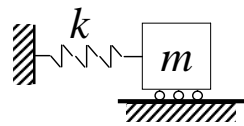
Modelos utilizados en el estudio de vibraciones (ii)

- I. **Introducción**
- Importancia
- Fenómeno vibratorio
- Modelos**
- Energía cinética
- Energía potencial
- Disipación
- Tipos de excitación
- Tipos de vibración

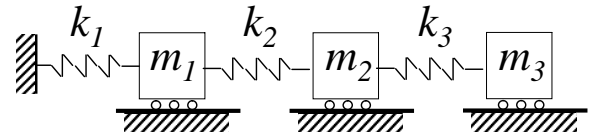
- II. Sistema de 1-GDL
- III. Sistemas de N-GDL
- IV. Medición / diagnóstico
- V. Bibliografía



Modelo de 1-gdl



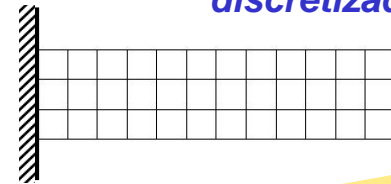
Modelo de N-gdl



Modelo continuo

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right) + \frac{\rho}{A} \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} = 0$$

Modelo continuo discretizado



Energía cinética

Energía que se acumula en la masa del sistema cuando el mismo está en movimiento (velocidad).

- I. **Introducción**
- Importancia
- Fenómeno vibratorio
- Modelos
- Energía cinética**
- Energía potencial
- Disipación
- Tipos de excitación
- Tipos de vibración

- II. Sistema de 1-GDL
- III. Sistemas de N-GDL
- IV. Medición / diagnóstico
- V. Bibliografía

Modelo de 1-gdl

$$T = \frac{1}{2} m \dot{\mathbf{x}}^T \dot{\mathbf{x}}$$

Modelo de N-gdl

$$T = \sum_{i=1}^N T_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m_i \dot{\mathbf{x}}_i^T \dot{\mathbf{x}}_i$$

$$T = \frac{1}{2} m \dot{\mathbf{x}}_p^T \dot{\mathbf{x}}_p + \frac{1}{2} \boldsymbol{\omega}^T \mathbf{I}_p \boldsymbol{\omega} + \dot{\mathbf{x}}_p^T (\boldsymbol{\omega} \times m \mathbf{r}_c)$$

Modelo continuo

$$T = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \dot{\mathbf{x}}^T \dot{\mathbf{x}} \rho dv$$

Modelo continuo discretizado

$$T = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \dot{\mathbf{x}}^T \dot{\mathbf{x}} \rho dv \approx \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \mathbf{M} \dot{\mathbf{q}}$$

$$\mathbf{M} = \int_{\Omega} \mathbf{N}^T \mathbf{N} \rho dv$$



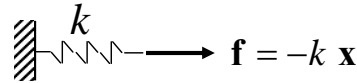
Energía potencial de deformación

Energía de deformación que se acumula en el sistema cuando el mismo se deforma.

- I. Introducción
 - Importancia
 - Fenómeno vibratorio
 - Modelos
 - Energía cinética
 - Energía potencial**
 - Disipación
 - Tipos de excitación
 - Tipos de vibración
- II. Sistema de 1-GDL
- III. Sistemas de N-GDL
- IV. Medición / diagnóstico
- V. Bibliografía

Modelo de 1-gdl

$$U = \frac{1}{2} k x^2$$

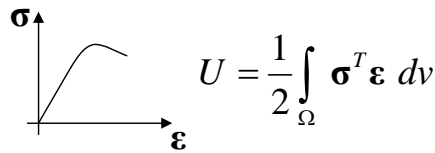


$k =$ constante elástica del resorte
 $x =$ deformación relativa

Modelo de N-gdl

$$U = \sum_{i=1}^N U_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} k_i x_i^2$$

Modelo continuo



Modelo continuo discretizado

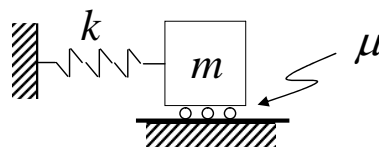
$$U = \frac{1}{2} \int_{\Omega^e} \boldsymbol{\sigma}^T \boldsymbol{\varepsilon} dv \approx \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{K} \mathbf{q}$$

$$\mathbf{K} = \int_{\Omega^e} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dv$$



Disipación

Roce seco o fricción de *Coulomb*.

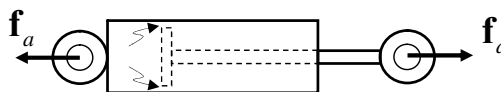


$$\mathbf{f}_r \leq \mu |\mathbf{N}|$$

$\mu =$ coeficiente de fricción

$\mathbf{N} =$ normal a la superficie

Amortiguación viscosa

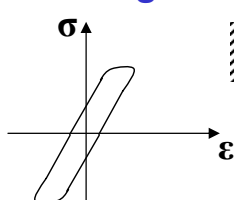


$$\mathbf{f}_a = -c \dot{\mathbf{x}}$$

$c =$ constante del amortiguador

$\dot{\mathbf{x}} =$ vel. relativa entre los extremos

Amortiguación interna del material (histerética)



$$\mathbf{f}_i = i \eta k \mathbf{x}$$

$\eta =$ factor de pérdida del material

$i =$ variable compleja

$k =$ rigidez del material

$\mathbf{x} =$ deformación relativa



I. **Introducción**

Importancia
Fenómeno vibratorio
Modelos
Energía cinética
Energía potencial
Disipación
Tipos de excitación
Tipos de vibración

II. Sistema de 1-GDL

III. Sistemas de *N*-GDL

IV. Medición / diagnóstico

V. Bibliografía

• **Excitaciones determinísticas**

Origen: interno / humano / mecánico

• **Periódicas**

- Armónicas simples (e.g. desbalance)
- Armónicas complejas (e.g. vibraciones acústicas, flujo pulsante)

• **No-periódicas**

- Transitorias (e.g. arranque o parada de un equipo, pérdida de un alabe)
- Impulsivas (e.g. válvula de alivio, golpe de ariete, choques, flujo tapón, etc.)

• **Excitaciones aleatorias**

Origen: externo / natural / físico

- **Estacionarias** (estadística no depende del tiempo)
- **No-estacionarias** (estadística depende del tiempo) (e.g. ola, viento, sismos)



I. **Introducción**

Importancia
Fenómeno vibratorio
Modelos
Energía cinética
Energía potencial
Disipación
Tipos de excitación
Tipos de vibración

II. Sistema de 1-GDL

III. Sistemas de *N*-GDL

IV. Medición / diagnóstico

V. Bibliografía

• **Vibraciones libres**

- Respuesta a condiciones iniciales (impulsos)

• **Vibraciones forzadas**

- Respuesta armónica a una excitación periódica
- Respuesta transitoria

• **Vibraciones autoexcitadas**

- Respuesta transitoria a una excitación interna, debido en general a inestabilidades