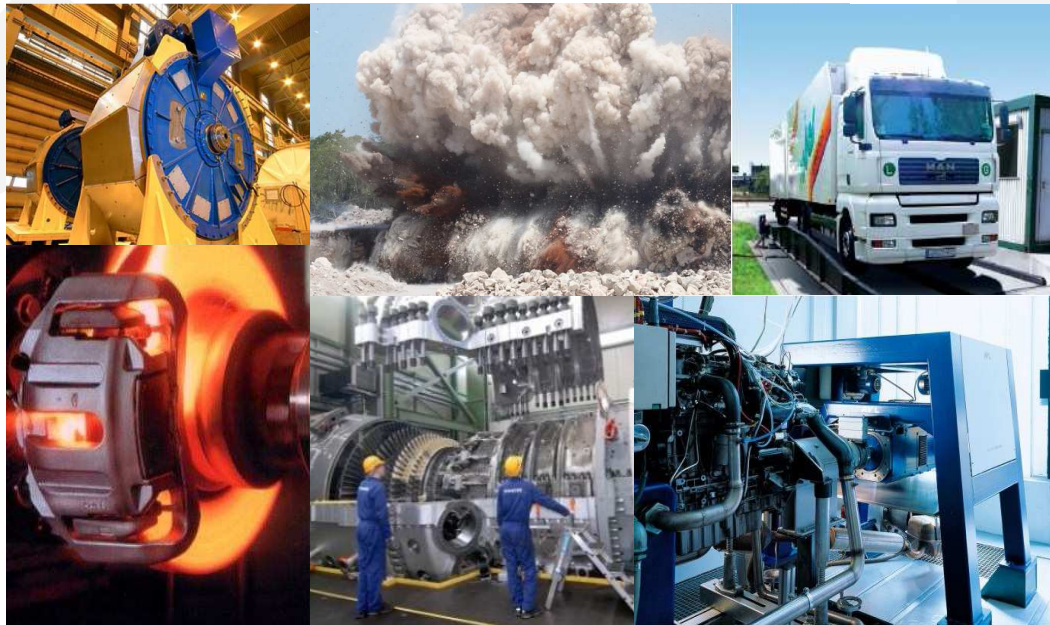




# El desafío de la medición en dinámico de magnitudes mecánicas

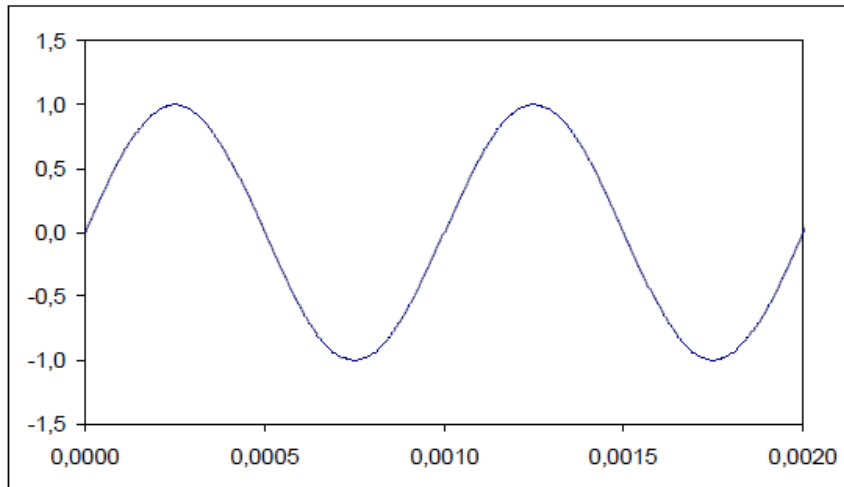


# Medición en dinámico

**Medición en la que:**

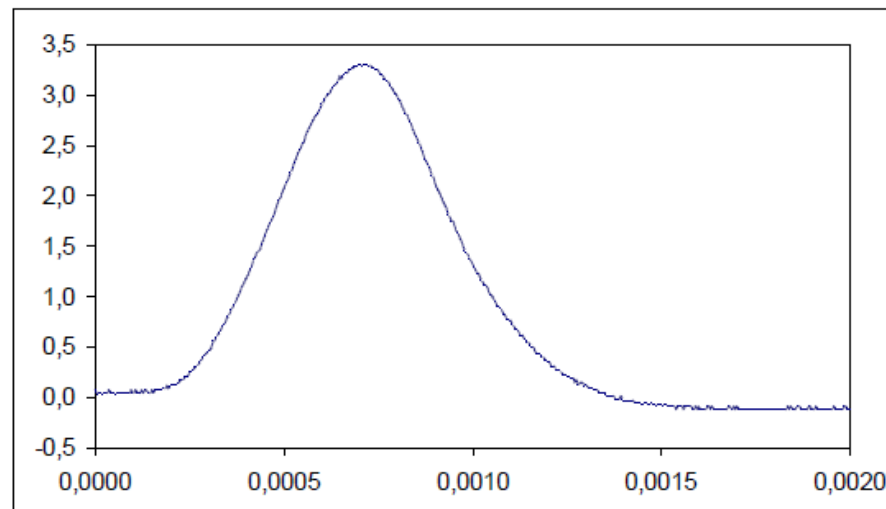
- la magnitud medida *varía en el tiempo* y
- donde esta variación puede tener un *efecto significativo en el resultado de medida*

## Tipos de mediciones en dinámico



**Sinusoidal**

**Impacto**



# Instrumento de medida en dinámico

## Transductor

(piezoeléctrico, resistivo, inductivo, capacitivo,...)

+

## Acondicionador de señal

(alimentación, amplificación, linealización, filtrado)

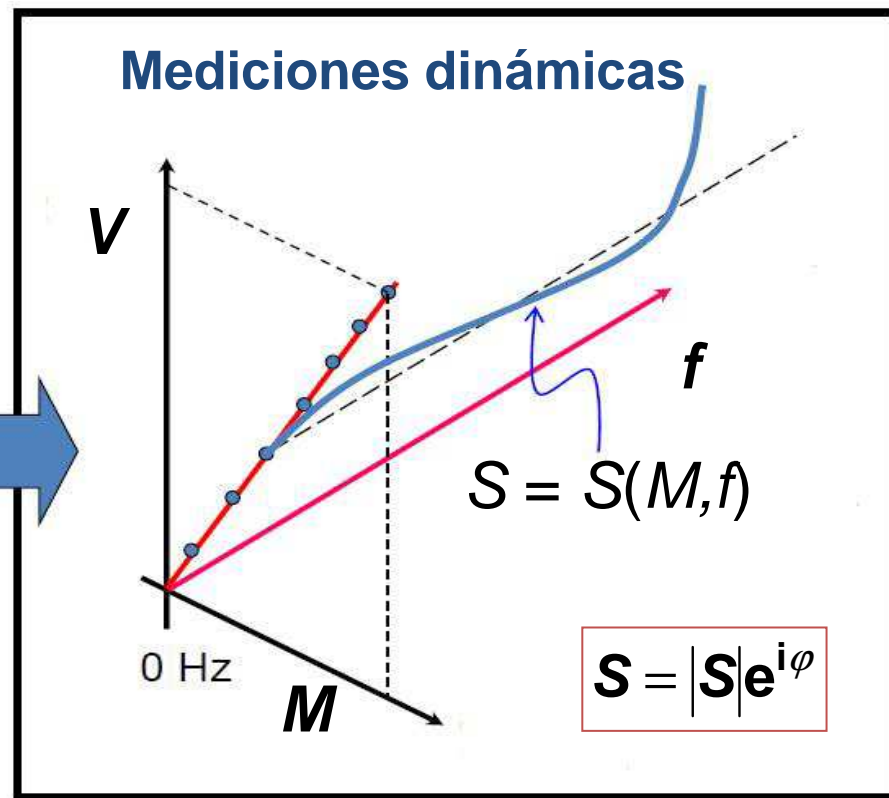
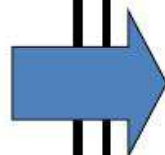
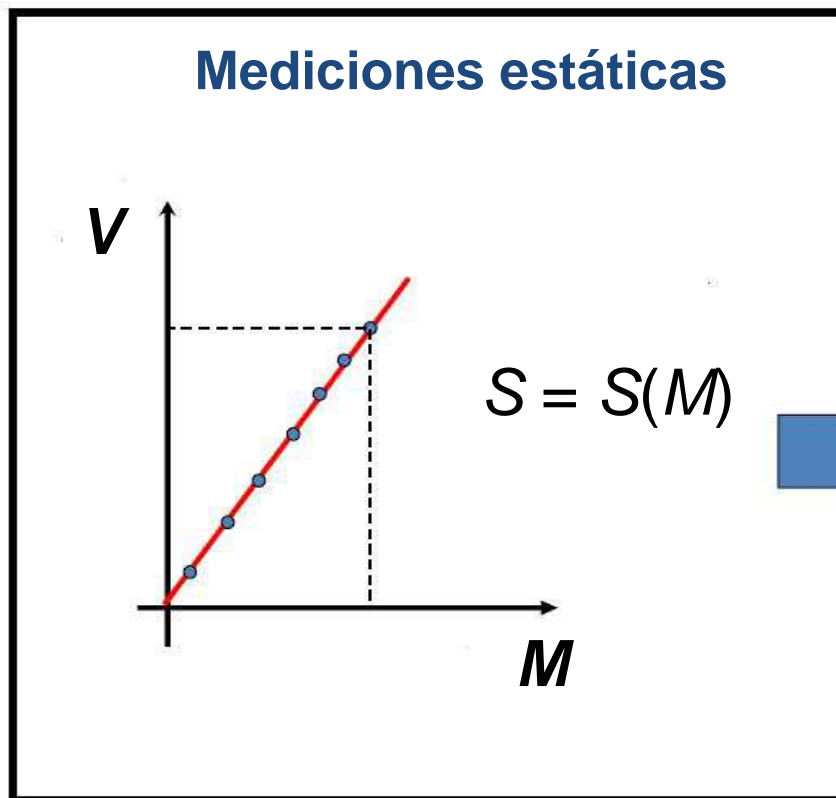




## Caracterización



$$\text{Sensibilidad (S)} = \frac{\text{Salida eléctrica (V)}}{\text{Magnitud a medir (M)}}$$





## Magnitudes mecánicas

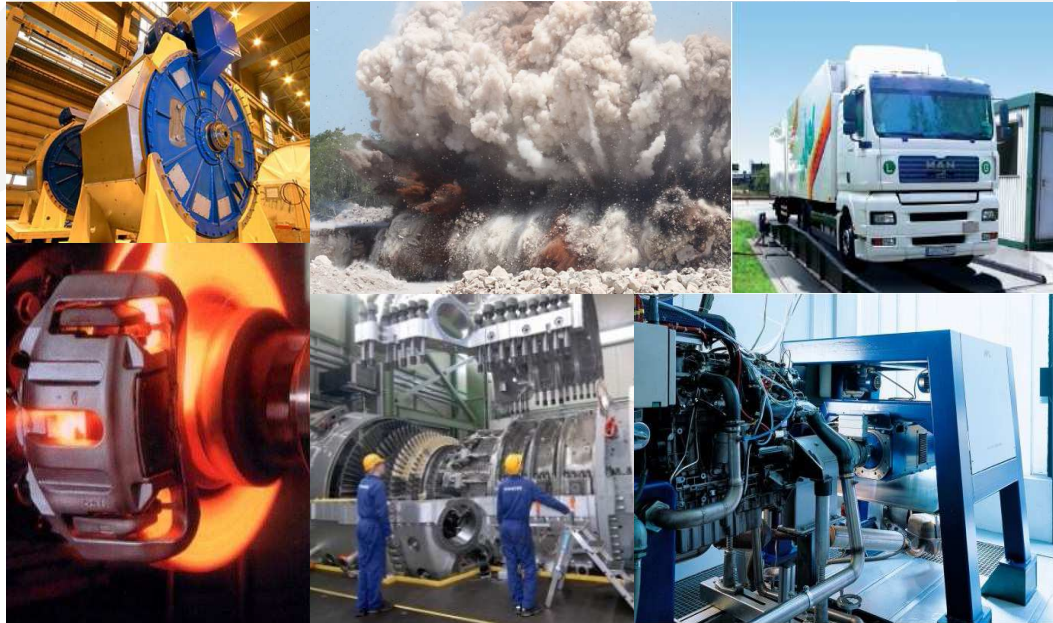
$$\text{Fuerza} \rightarrow F = m \cdot a$$

$$\text{Par de Torsión} \rightarrow T = F \cdot l$$

$$\text{Presión} \rightarrow P = F / S$$



# Fuerza



# Necesidades de trazabilidad en dinámico Fuerza

## Ensayos automovilísticos





# Necesidades de trazabilidad en dinámico

## Fuerza

Ensayos de materiales



Pesaje dinámico



# Necesidades de trazabilidad en dinámico Fuerza

## Ensayos de estructuras





## Patrones primarios de fuerza en estático

### Máquinas de carga directa

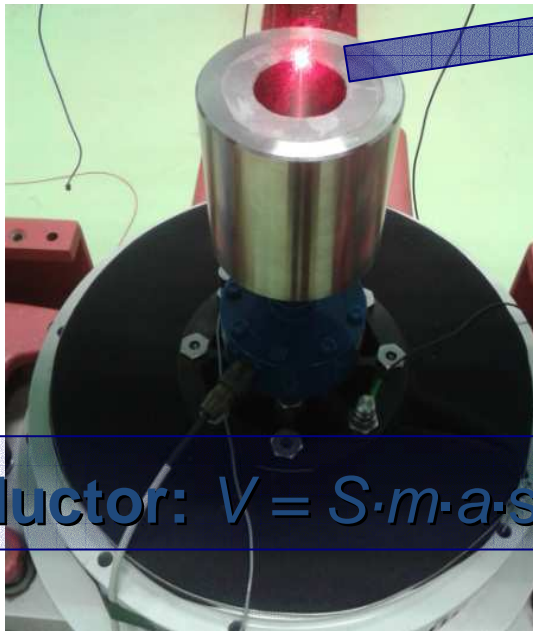
$$F = m \cdot g_1$$





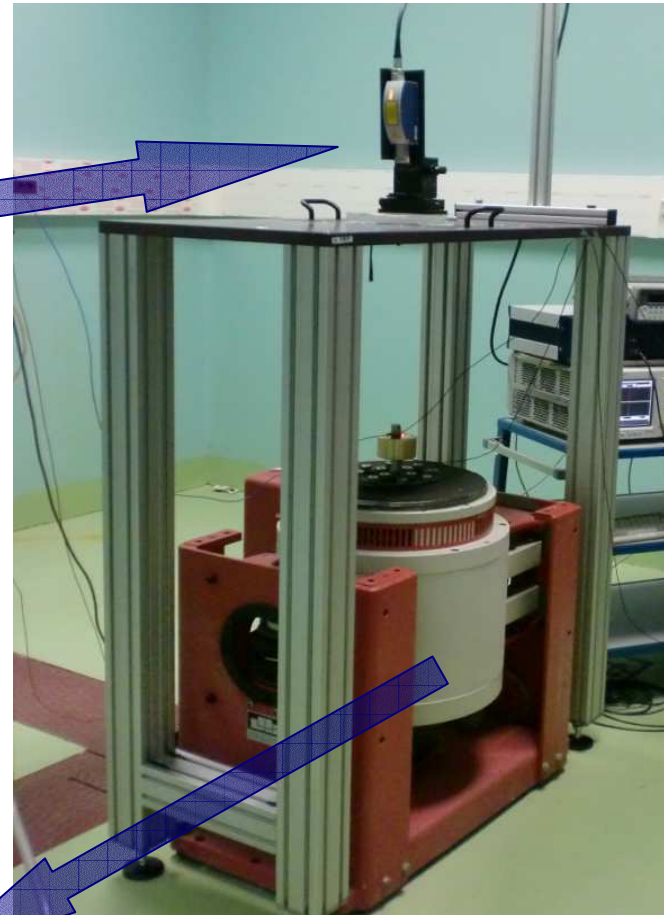
## Patrones primarios de fuerza sinusoidal

**Masa:**  $F = m \cdot a \cdot \text{sen}(\omega t)$



**Transductor:**  $V = S \cdot m \cdot a \cdot \text{sen}(\omega t)$

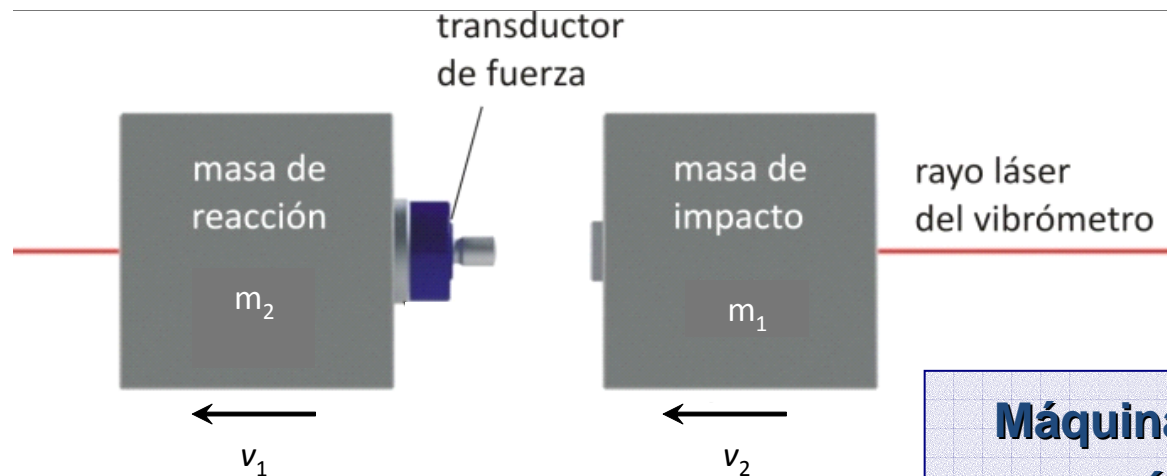
**Excitador:**  $a \cdot \text{sen}(\omega t)$



**Límites:** 1 kN y 2,5 kHz



## Patrones primarios de fuerza de impacto

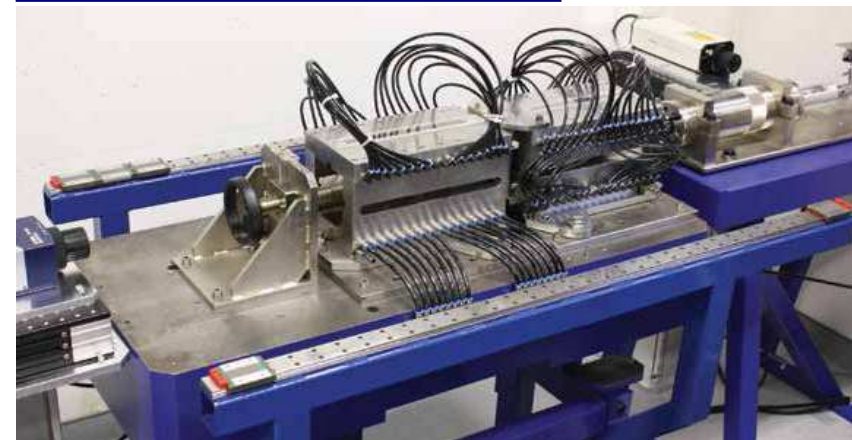


$$F = m_1 \frac{dv_1}{dt} - m_2 \frac{dv_2}{dt}$$

**Máquina de 20 kN con guías lineales**



**Máquina de 250 kN con cojinetes neumáticos**



**Pulsos de 1 ms**



# Presión



# Necesidades de trazabilidad en dinámico Presión

## Ensayos de explosivos



# Necesidades de trazabilidad en dinámico Presión

## Ensayos de reactores



## Ensayos de turbinas







# Necesidades de trazabilidad en dinámico Presión

## Ensayos de caudal dinámico



## Patrones primarios de presión en estático

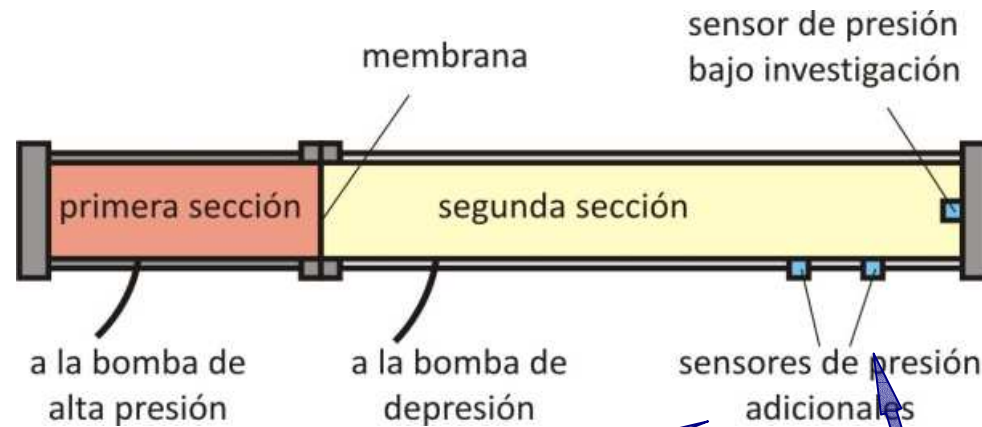


### Balanzas de presión

$$P \cdot A = m \cdot g_1$$



## Patrones primarios de presión de impacto: tubo de choque

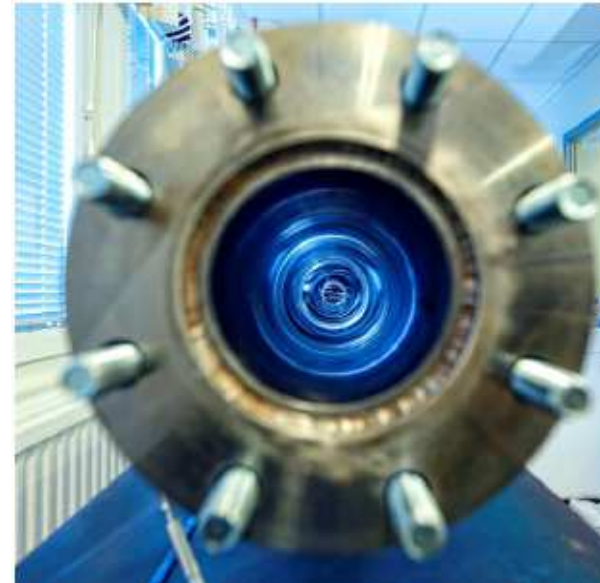


difícil

$$\Delta P = P_i \frac{14(2\mathcal{M}^4 - \mathcal{M}^2 - 1)}{3(\mathcal{M}^2 + 5)}$$

$$\mathcal{M} = \frac{v}{\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}}$$

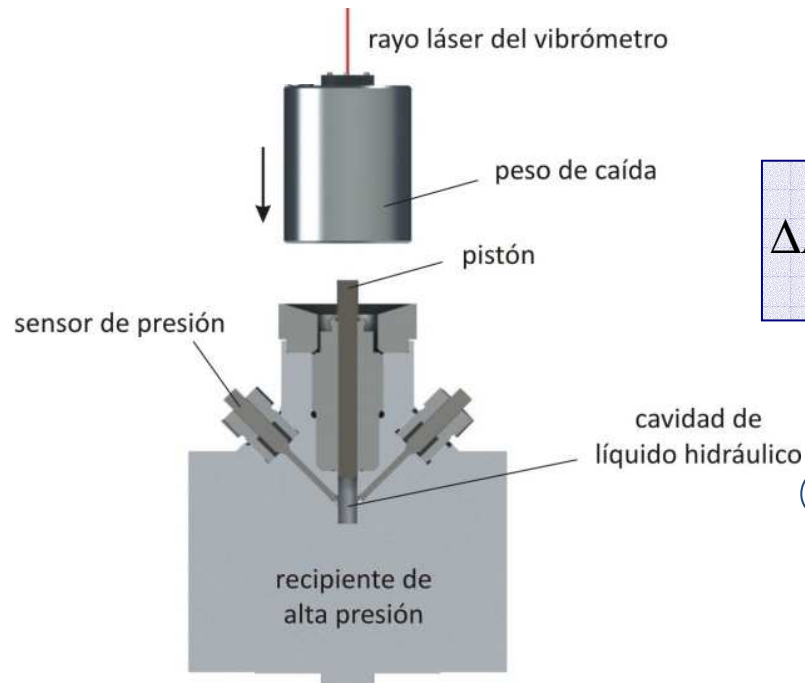
## Patrones primarios de presión de impacto: tubo de choque



**Pulsos de presión del orden de MPa y duración de 1 ns**

# Patrones primarios de presión de impacto: caída libre

## Método 1: medida del desplazamiento del pistón



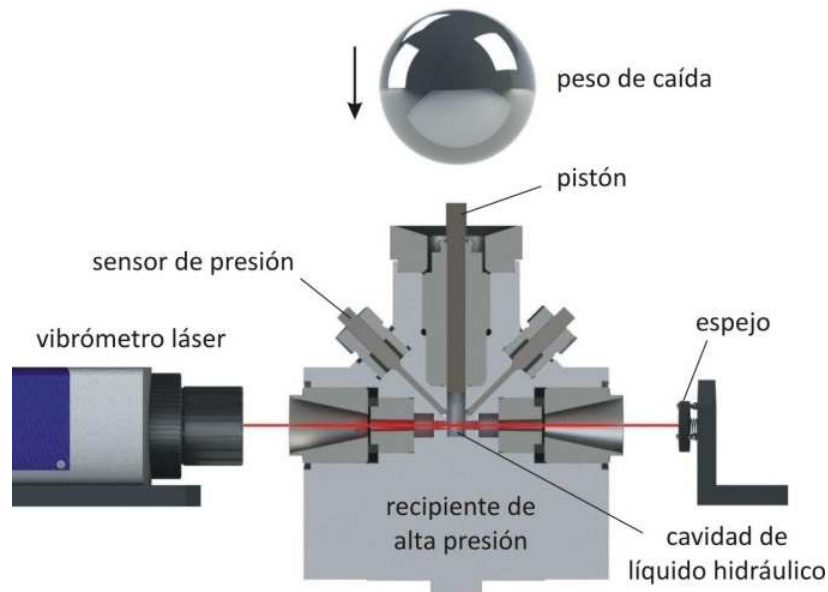
$$\Delta P = -K \ln \left( 1 - \frac{A \Delta x}{V_0} \right)$$

difícil



# Patrones primarios de presión de impacto: caída libre

**Método 2: medida del índice de refracción con trazabilidad a presiones estáticas**



$$n^2 = \frac{1 + 2\rho(p,t)\alpha}{1 - \rho(p,t)\alpha}$$

difícil

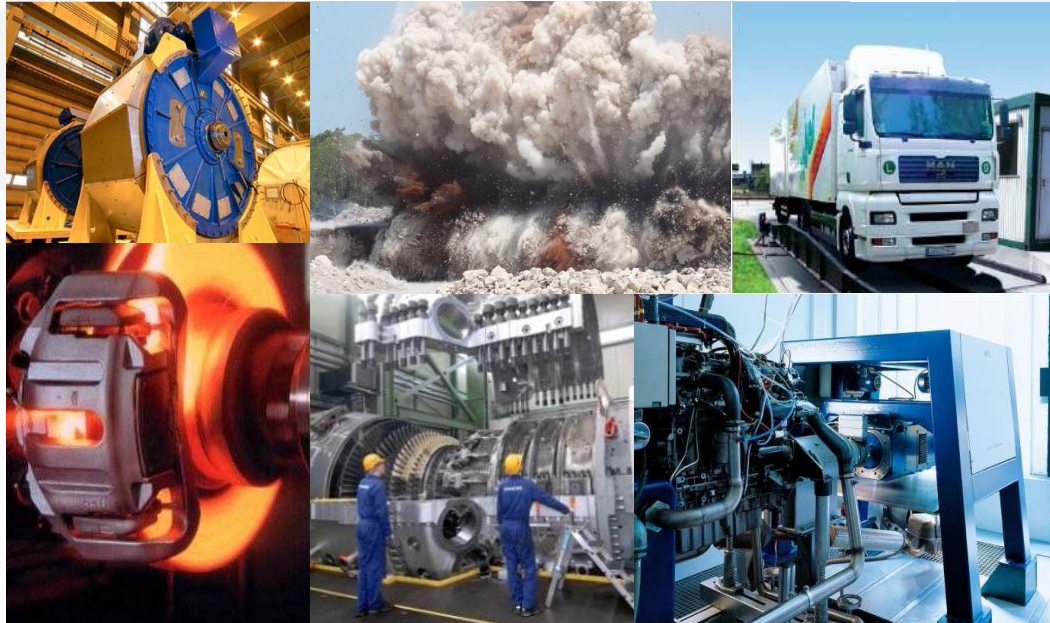
Para ambos métodos:

$$\Delta p_{\max} = \frac{mg_1 h}{A \Delta x_{\max}}$$

y pulsos de milisegundos



# Par de torsión



# Necesidades de trazabilidad en dinámico Par de Torsión

Ensayos de motores







# Necesidades de trazabilidad en dinámico

## Par de Torsión

Ensayos de generadores



Ensayos de turbinas



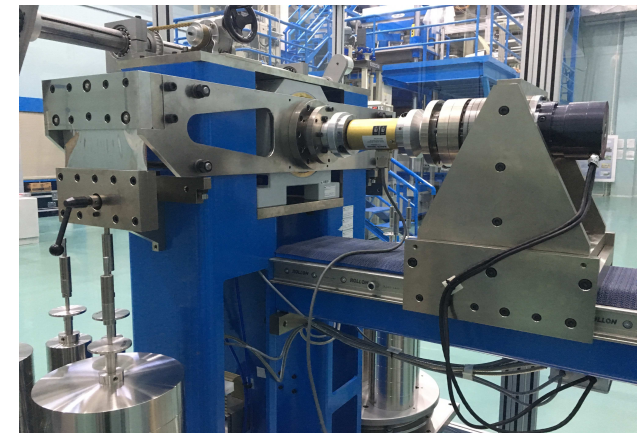


## Patrones primarios de par de torsión en estático

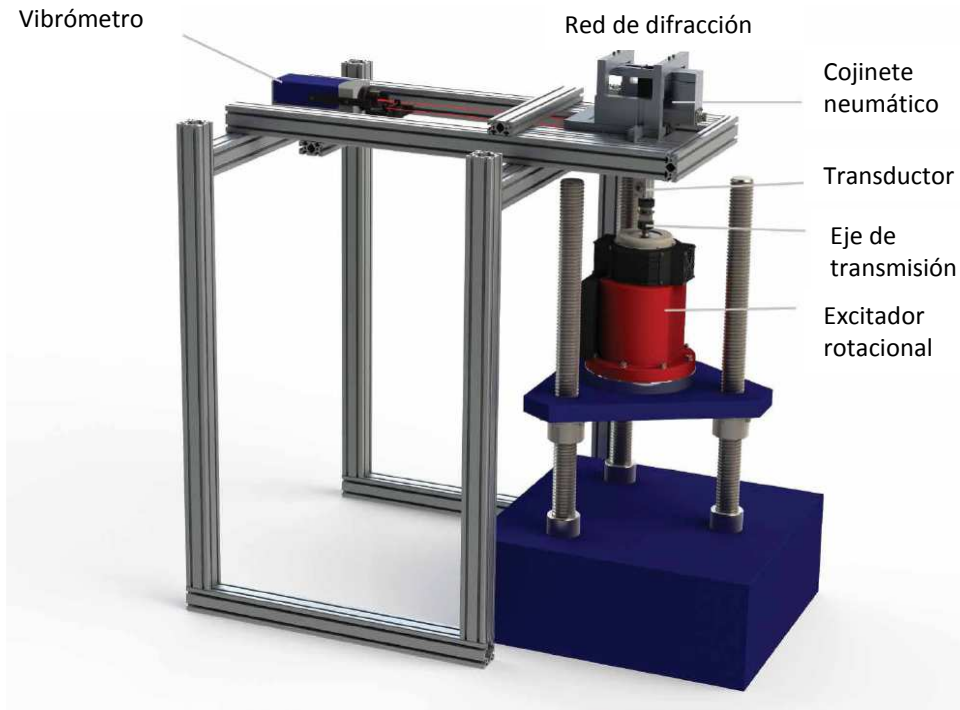


**Máquinas de carga directa**

$$T = m \cdot g_1 \cdot L$$

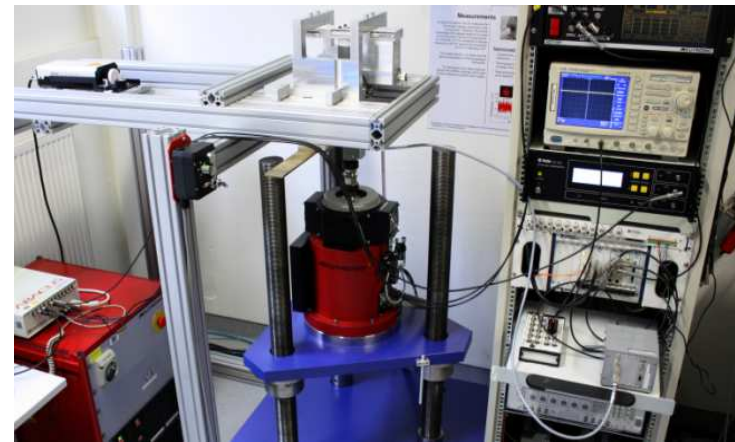


## Patrones primarios de par de torsión sinusoidal



$$T = I \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

difícil  
(péndulo físico)



Límites: 20 N·m y 500 Hz

## Aspectos a considerar en mediciones dinámicas

- Respuesta en frecuencia del acondicionador de señal
- Comportamiento dinámico del sistema patrón-transductor
  - Importancia del montaje
  - Importancia de la composición interna del transductor

### Mayores incertidumbres

$\sim 10^{-5}$  (estático)  $\longleftrightarrow$   $\sim 10^{-3}$  (dinámico)



## Mediciones dinámicas en Europa

Proyecto EMRP IND 09 “Mediciones dinámicas trazables de magnitudes mecánicas” (2011-2014)



CEM



VTT



UME

PTB



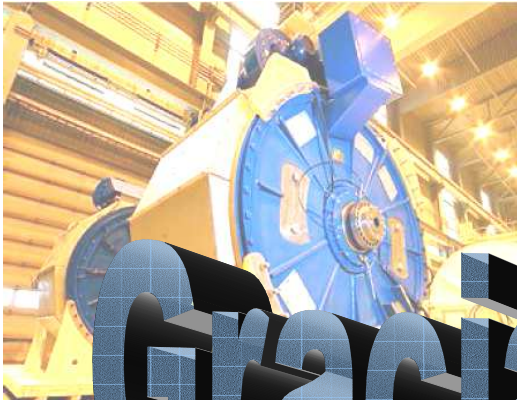
NPL



LNE



<http://www.ptb.de/emrp/ind09.html>



**Gracias por su atención**

