







## Introducción

- Lindholm (1964)

$$\sigma = (A + B\varepsilon^m) + (C + D\varepsilon)\log\dot{\varepsilon}$$

- Vinh (1979)

$$\sigma = F\varepsilon^m(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0)e^{W/T}$$

- Campbell (1977)

$$\sigma = A\varepsilon^m(1 + m \ln(1 + \dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0))$$

- Johnson-Cook (1983)

$$\sigma = (A + B\varepsilon^m)(1 + c \ln(1 + \dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0)) \left(1 - \left(\frac{T - T_{amb}}{T_{fusion} - T_{amb}}\right)^m\right)$$



Universidad  
**Carlos III**  
de Madrid

## Introducción

### Properties for the Johnson–Cook Equation

Material	Ref.	A (MPa)	B (MPa)	$n$	C	$m$	$T_m$ (K)
Al 5083 <sup>a</sup>	(Gray III et al. 1994)	270	470	0.600	0.0105	1.200	933
Al 7039	(Johnson and Cook 1983)	337	343	0.410	0.0100	1.000	877
Al 7039 <sup>a</sup>	(Gray III et al. 1994)	220	500	0.220	0.0160	0.905	933
Ti–6Al–4V (low cost)	(Meyer, Jr. and Kleponis 2001)	896	656	0.500	0.0128	0.800	1930
1006 steel	(Johnson and Cook 1983)	350	275	0.360	0.0220	1.000	1811
4340 steel	(Johnson and Cook 1983)	792	510	0.260	0.0140	1.030	1793
RHA	(Gray III et al. 1994)	1225	1575	0.768	0.0049	1.090	1783
HHA	(Johnson and Holmquist 1989; Gray III et al. 1994)	1504	569	0.220	0.0030	0.900	1783

<sup>a</sup> The plate was obtained directly from the manufacturing line for the Bradley infantry fighting vehicle.

Figura: Johnson Cook Properties for different Materials [2]

# Dispositivos Experimentales en función de la velocidad de deformación

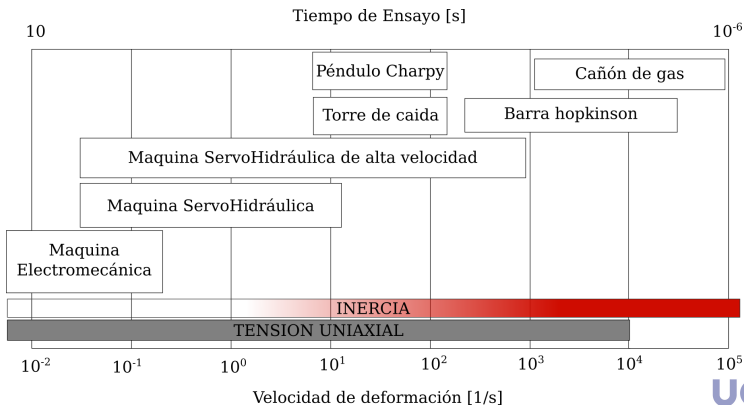


Figura: Tipología de Maquinara en relación a la velocidad de deformación que se alcanza



## Péndulo Charpy: tenacidad del material

Se emplea en ensayos para determinar la tenacidad de un material. Son ensayos de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión en 3 puntos. La idea es medir la energía residual del péndulo para compararla con la absorbida por la probeta, mediante un equilibrio simple de energía potencial (Se debe tener en cuenta el rozamiento).

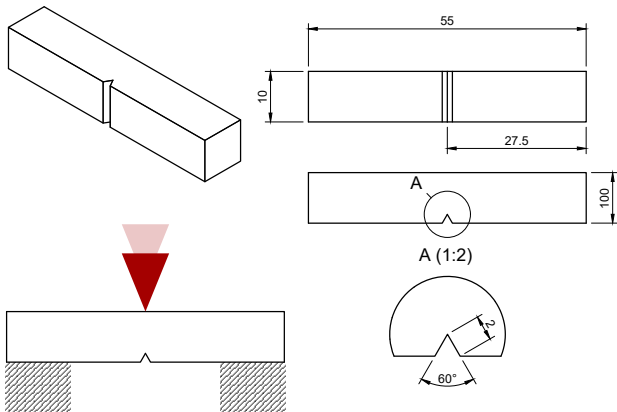


Figura: Péndulo Charpy





## Péndulo Charpy: tenacidad del material



## Interpretación resultados: Charpy

$$a(t) = \frac{F(t)}{m}$$

Mediante integración y conociendo la velocidad de impacto obtenemos la velocidad:

$$v(t) = v_0 - \int_0^t a(t) dt$$

Mediante integración y conociendo la posición de impacto obtenemos el desplazamiento:

$$x(t) = \int_0^t \left( v_0 - \int_0^t a(t) dt \right)$$

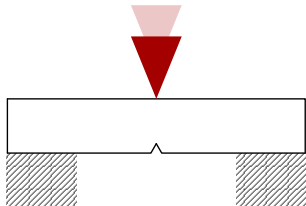
Conocido la fuerza y el desplazamiento durante el ensayo podemos obtener la energía:

$$E(t) = \int_0^t F(t) \int_0^t \left( v_0 - \int_0^t a(t) dt \right) dt$$

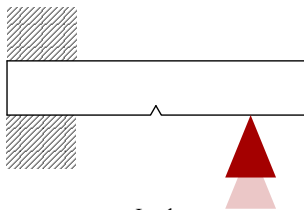


## Impacto Izod: tenacidad del material

Este ensayo similar al Charpy, se modifican las condiciones de contorno de la probeta.



Charpy



Izod

uc3m

Universidad  
Carlos III  
de Madrid





## Interpretación resultados: Torre de caída

$$a(t) = \frac{F(t)}{m}$$

Mediante integración y conociendo la velocidad de impacto obtenemos la velocidad:

$$v(t) = v_0 - \int_0^t a(t) dt$$

Mediante integración y conociendo la posición de impacto obtenemos el desplazamiento:

$$x(t) = \int_0^t \left( v_0 - \int_0^t a(t) dt \right)$$

Conocido la fuerza y el desplazamiento durante el ensayo podemos obtener la energía:

$$E(t) = \int_0^t F(t) \int_0^t \left( v_0 - \int_0^t a(t) dt \right) dt$$





## Barra Hopkinson: Compresión

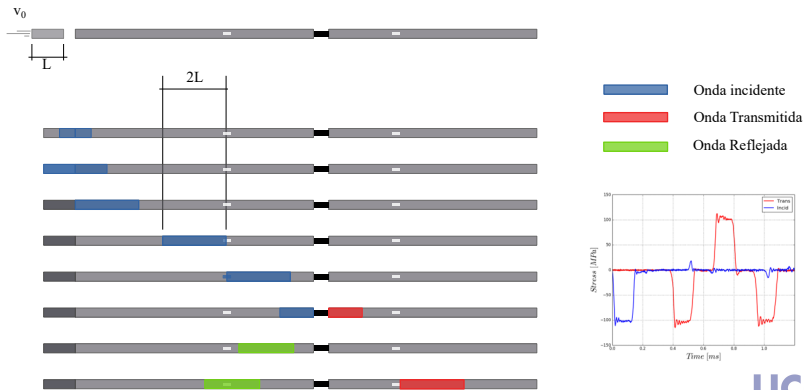


Figura: Funcionamiento SHPB compresión



# Barra Hopkinson: Compresión

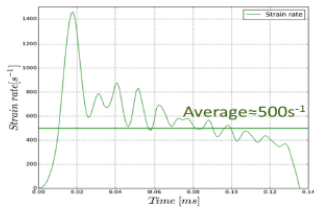
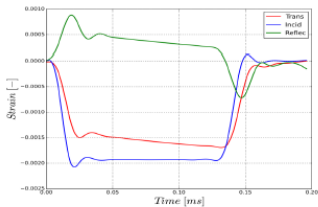
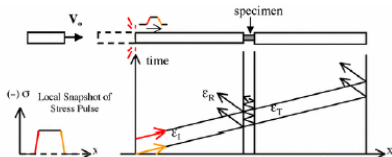
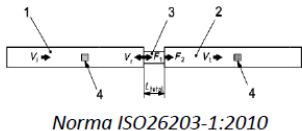
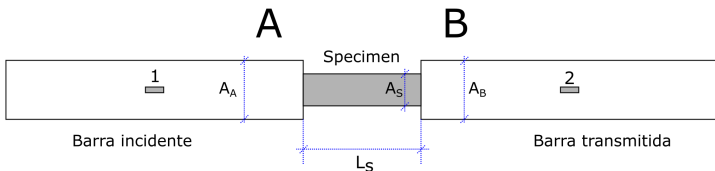


Figura: Señales y normativa SHPB compresión

## Barra Hopkinson: Compresión



Valor de las deformaciones en las secciones A y B

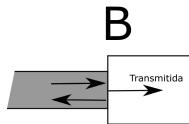
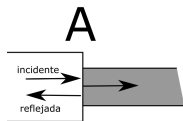
$$\varepsilon_A(t) = \varepsilon_I(t) + \varepsilon_r(t)$$

$$\varepsilon_B(t) = \varepsilon_T(t)$$

Valor de las velocidades en las secciones A y B

$$v_A(t) = -c\varepsilon_I(t) + c\varepsilon_r(t)$$

$$v_B(t) = -c\varepsilon_T(t)$$

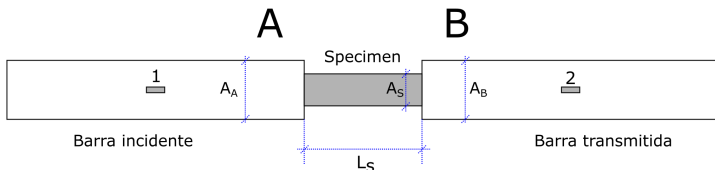


uc3m

Universidad  
Carlos III  
de Madrid



## Barra Hopkinson: Compresión



Valor de las tensiones en las secciones A y B

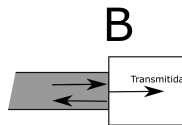
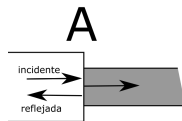
$$\sigma_A(t) = E(\varepsilon_I(t) + \varepsilon_r(t))$$

$$\sigma_B(t) = E(\varepsilon_T(t))$$

Valor de las Fuerzas en las secciones A y B

$$F_A(t) = A_A E(\varepsilon_I(t) + \varepsilon_r(t))$$

$$F_B(t) = A_B E(\varepsilon_T(t))$$



uc3m

Universidad  
Carlos III  
de Madrid











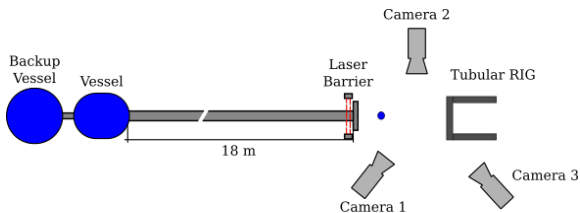








## Cañón de gas: Ensayo Balístico



General scheme Setup 2



# Cañón de gas: Ensayo Balístico

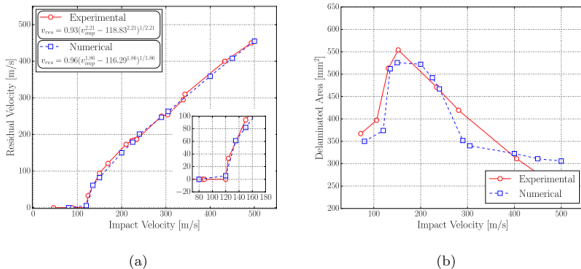


Fig. 4. (a) Residual Velocity versus impact velocity. (b) Delaminated area versus impact velocity.

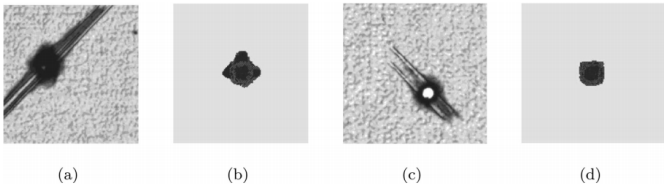


Fig. 5. Delaminated area obtained in an impact of (a) 135 m/s Experimental (b) 135 m/s Numerical (c) 500 m/s Experimental (d) 500 m/s Numerical.

## Bibliografía



The influence of laminate stacking sequence on ballistic limit using a combined experimental/fem/artificial neural networks (ann) methodology. *Composite Structures*, pages–, 2017.



P J Hazell.  
Armour:materials, theory and design.  
*CRC Press*, 2016.



Marc André Meyers.  
Dynamic behaviour of materials.  
*Wiley and sons*, 1994.



Johnson W.  
Impact strength of materials.  
*Edward Arnold*, 1972.



Jonas A. Zukas.  
Impact dynamics.  
*Wiley*, 1982.



Jonas A. Zukas.  
High velocity impact dynamics.  
*Wiley*, 1990.

