



SELECCIÓN DE MATERIALES



Contenido

1.5. Selección de Materiales

1.5.1. Metales

1.5.2. Otros materiales



COMENTARIOS GENERALES

- LS-DYNA® cuenta con >200 modelos de material que incluyen metal, plástico, vidrio, madera, aceite, concreto, roca, espuma, caucho, tela, compuestos, biomateriales, hidrodinámico, fluidos, adhesivos, etc.
- La complejidad de cada material define su comportamiento y los parámetros necesarios para su modelado.
- En general, no existen librerías con propiedades precargadas, sino que es responsabilidad del usuario conseguir los parámetros para cada modelo.

SELECTOR DE MATERIALES

<http://www.lstc.com/dynamat/>

Material selector for LS-DYNA

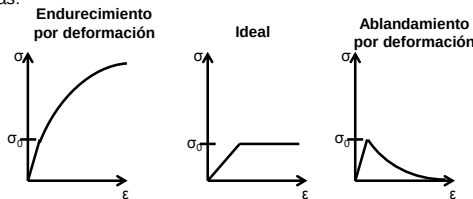
Send Feedback to List-Data at lsdyna.com

ID	Name	Purpose
*MAT_001	*MAT_ELASTIC	This is Material Type 1. This is an isotropic elastic material and is available for beam, shell, and solid elements in LS-DYNA. An specialization of this material exists for modeling of fluids.
*MAT_001_001	*MAT_ELASTIC_FLUID	Unavailable
*MAT_002	*MAT_HYPERELASTIC	Unavailable
*MAT_003	*MAT_PLASTIC_KINEMATIC	This is Material Type 3. This model is subject to metal isotropic and kinematic hardening plasticity with the option of including rate effects. It is a very cost-effective model and is available for beam (bilinear), shell, and solid elements.
*MAT_004	*MAT_ELASTIC_PLASTIC_THERMAL	Unavailable
*MAT_005	*MAT_RIGID_AND_FROTH	Unavailable
*MAT_006	*MAT_VISCOELASTIC	This is Material Type 6. This model allows the modeling of viscoelastic behavior for beams (bilinear), shells, and solids. Also see *MAT_VISCOELASTIC_001 for a more general formulation.
*MAT_007	*MAT_ELASTIC_RUBBER	Unavailable
*MAT_008	*MAT_ELASTIC_RUBBER_001	This is Material Type 8. It allows the modeling of the behavior of a high explosive. In addition an equation of state must be defined. See history *MAT_008 and *MAT_008_001.
*MAT_009	*MAT_009	Unavailable
*MAT_010	*MAT_ELASTIC_PLASTIC_HYPERELASTIC	Unavailable
*MAT_011	*MAT_011	Unavailable

MÁS ALLÁ DE LA ELASTICIDAD

- Antes del límite elástico, el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. Sin embargo, más allá del límite elástico se obtienen deformaciones permanentes.

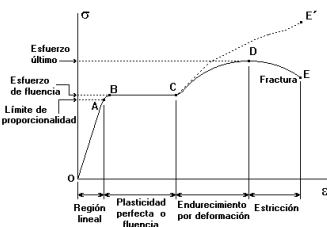
Comportamiento post-límite elástico para pruebas de tensión uniaxiales típicas:



PRUEBA DE TRACCIÓN (ASTM E8)

Procedimiento:

- Medir ancho y espesor de la probeta en diferentes puntos de su sección.
- Marcar la probeta para medir posteriormente el alargamiento máximo.
- Colocar la probeta en la máquina de ensayo y sujetarla con las mordazas.
- Seleccionar la velocidad de ensayo de acuerdo con la norma ASTM. Ha de ser siempre aquella que provoque rotura de la probeta en un tiempo comprendido entre 0.5 y 5 minutos.





ESFUERZO-DEFORMACIÓN REAL

En la curva esfuerzo-deformación ingenieril:

- El esfuerzo está basado en la sección transversal inicial de la pieza.
- La deformación está basada en la longitud original de la probeta.

$$\text{Esfuerzo ingenieril, } \sigma = \frac{P}{A_0}$$

$$\text{Deformación ingenieril, } e = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$\text{Esfuerzo real, } \sigma = \frac{P}{A}$$

$$\text{Deformación real, } \varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$



ESFUERZO-DEFORMACIÓN REAL

- › La deformación plástica de la mayoría de los metales y sus aleaciones ocurre a volumen constante $A_0 l_0 = A l$

- › El esfuerzo real se calcula como: $\sigma = \frac{P}{A} = \sigma(1 + e_{eng})$

- › Mientras que la deformación unitaria real se calcula como:

$$\varepsilon = \ln(1 + e_{eng})$$

- › Ambas ecuaciones son válidas hasta el inicio del *encuellamiento*



Demo 9: Procesar datos de prueba a tensión

- › A partir del archivo [demo9.csv](#) genere las curvas esfuerzo-deformación ingenieril y real en una misma gráfica a fin de facilitar su comparación.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \sigma(1 + e_{eng})$$

$$\varepsilon = \ln(1 + e_{eng})$$

CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN
REAL

- Si la curva esfuerzo-deformación real se grafica en escala logarítmica (log-log), el comportamiento de muchos metales se parece al de la figura:

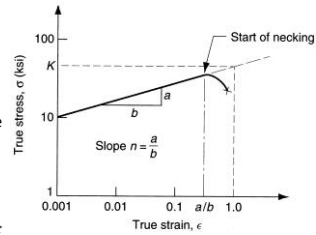
- › A bajas deformaciones, la curva es aproximadamente lineal con una pendiente unitaria

$$\sigma = E\varepsilon \text{ or } \log \sigma = \log E + \log \varepsilon$$

- › A altas deformaciones, la curva puede ser ajustada por una ecuación de la forma

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

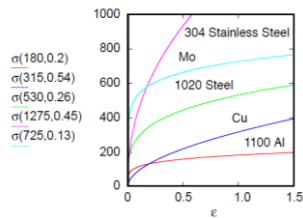
$$0 \quad \log \sigma = \log K + n \log \varepsilon$$



Ley Exponencial

La ecuación $\sigma = K\epsilon^n$ se conoce como ley exponencial (power law) y se utiliza para describir el comportamiento de diferentes materiales en una prueba de tensión

$$\sigma(K,n) = K \cdot \varepsilon^n \quad \varepsilon = 0, 0.01 \dots 1.5 \quad K = 180 \quad n = 2$$



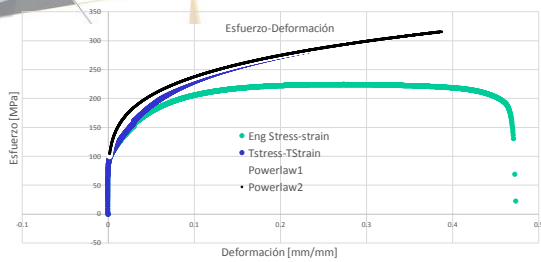
*MAT_POWER_LAW_PLASTICITY

Este modelo de material existe en LS-DYNA como ***MAT_018**. Es un modelo de plasticidad isotrópica que permite incluir la influencia de la velocidad de deformación por medio de los parámetros de Cowper-Symonds.

[illegible]



Curvas Esfuerzo-Deformación



$$\text{Powerlaw1} = 390.383(\epsilon)^{0.22}$$

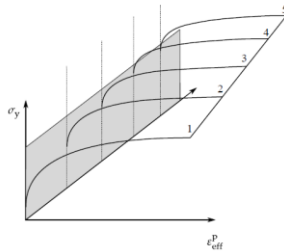
$$\text{Powerlaw2} = 385.038(\epsilon)^{0.21}$$



*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

Ejemplificaremos el proceso de selección de material con el modelo más utilizado en LS-DYNA, ***MAT_024**:

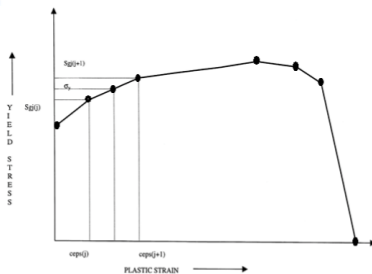
- Elasto-plástico con dependencia en la velocidad de deformación.
- Se utiliza para modelar una gran variedad de metales y suele utilizarse para modelar plásticos.



*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

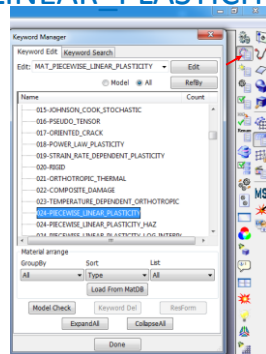
Requiere:

- Módulo de Young
- Densidad
- Razón de Poisson
- Límite Elástico
- Puntos esfuerzo-deformación más allá del límite elástico (8 puntos en total) / curva esfuerzo efectivo - deformación plástica
- Tres formas de incluir la velocidad de deformación



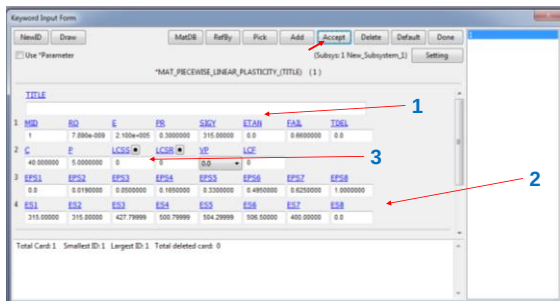
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

Dentro de **Keyword Manager**, **All**, desplegar el menú de **MAT** y buscar **024-PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY**.



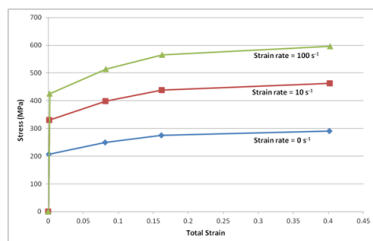
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

Tres formas de definir la zona plástica:



Velocidad de Deformación

La relación entre esfuerzo y deformación, en la mayoría de los metales, es afectada por la velocidad de deformación





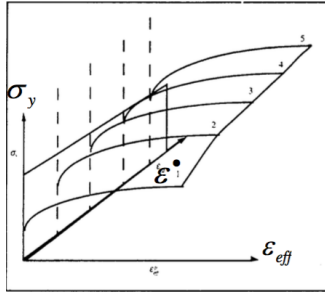
Velocidad de Deformación

El modelo de Cowper-Symmonds está basado en dos parámetros que dependen del material

$$\sigma_y = \sigma_0 \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^p \right]$$

σ_y =esfuerzo de cedencia dinámico
 σ_0 =esfuerzo de cedencia estático

- Para acero suave :
C=40 1/s y P=5.



*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

El modelo de material se escribe en el archivo de entrada como sigue:

```
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
$# mid ro e pr sigy etan fail tdel
   17.890E-9 210000.0 0.3 315.0 0.0 1.000E21 0.0
$# c p lcsl lcsr vp
  40.0 5.0 0 0 0.0
$# eps1 eps2 eps3 eps4 eps5 eps6 eps7 eps8
   0.0 0.2 0.06 0.170.34999999 0.50.64999998 1.0
$# es1 es2 es3 es4 es5 es6 es7 es8
  435.0 435.0 527.79999 600.79999 604.29999 606.5 500.0 0.0
```



Demo 10

A partir del archivo demo10.k genere las curvas fuerza-elongación del material graficado en el Demo9 y compare los resultados contra los datos experimentales.

- Modifique en la curva tiempo-desplazamiento (*DEFINE_CURVE) a fin de a) asegurar una elongación mínima de 20 mm en la zona reducida de la probeta, b) evitar el encuellamiento.
- Agregue dos materiales basados en el modelo *MAT_018 y *MAT_024 (ver LS_DYNA_manual_Vol2.pdf) y los datos de K, n (slide 13).
- Agregue sus curvas fuerza-elongación a la gráfica.





Demo 10

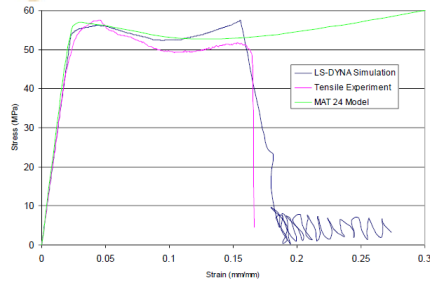
Concluya: ¿cuál es el mejor material?, en términos de a) esfuerzo de preparación de los datos, tiempo de cómputo, comparación con datos experimentales.

TAREA: Realice el mismo estudio con elementos Shell.



Comportamiento de Plásticos

- No-lineal desde la zona elástica
- Límite elástico por debajo del punto de cedencia típico
- Encuellamiento a partir del punto de cedencia



Modelos de Material: Plásticos

- **89 Plasticidad Polimérica**
- 101 Razón de Deformación Plástica GE
- 102 Seno Hiperbólico Inverso
- 106 Elástico-Viscoplastico-Térmico
- 112 Plasticidad por deformación Elástica Finita
- 141 Polímero Sensible a la Velocidad de Deformación
- 168 Polímero
- 170 Anisotrópico Resultante
- 187 Modelo 1 para Polímeros Semi-Analítico
- 225 Endurecimiento Mezclado Viscoplastico
- 251 Propiedades Adaptadas



*MAT_PLASTICITY_POLYMER

Modelo *MAT_089. Es un modelo de elasto-plasticidad basado en una curva esfuerzo-deformación. Permite incluir la influencia de la velocidad de deformación por medio de los parámetros de Cowper-Symmonds.

Card 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	MO	RO	E	PR				
Type	A8	F	F	F				
Default	none	none	none	none				

Card 2	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	C	P	LCS	LCSR				
Type	F	F	F	F				
Default	0	0	0	0				



*MAT_089 vs. *MAT_024

*MAT_089 es igual al *MAT_024 excepto por lo siguiente:

- La curva está basada en la deformación unitaria equivalente (total), no la deformación unitaria plástica.
- La rigidez inicial está basada en E, pero se incrementa con la pendiente de la curva esfuerzo-deformación
- Cálculo diferente de la deformación unitaria para falla y daño del material
- La deformación de falla depende de la velocidad de deformación.



REFERENCIAS

- *The History of LS-DYNA*. David Benson.
- *Getting Started with LS-DYNA*. LSTC. 2002
- *LS-DYNA Keyword Users Manual. Volume I (03/31/17)*. LSTC
- *Short Introduction to LS-DYNA and LS-PrePost*. Dynamore. 2013
- *LS-DYNA Analysis for Structural Mechanics*. PredictiveEngineering. 2015
- *A First Course in the Finite Element Method*. Logan. 2007
- *Review of solid element formulations in LS-DYNA*. Tobias Erhart. 2011
- *Testing for crash & safety simulation*. Hubert Lobo. Datapoint Labs.