

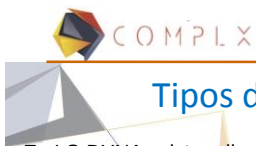


SELECCIÓN DE ELEMENTOS



Contenido

- 1.4. Selección de Elementos
 - 1.4.1. Tipos de elementos
 - 1.4.2. Integración reducida y hourglassing



Tipos de Elementos

En LS-DYNA existen diversos tipos de elementos:

- Puntuales asignados a 1 nodo
 - Masa (*ELEMENT_mass)
 - Inercia (*ELEMENT_inertia)
 - Esfera para el método de elementos discretos (*ELEMENT_discrete_sphere)
 - Masa concentrada para el método Smooth Particle Hydrodynamics (*ELEMENT_sph)
- Discretos de 2 nodos:
 - resorte o amortiguador (*ELEMENT_discrete)
 - rodamientos (*ELEMENT_bearing)
 - cinturón de seguridad (*ELEMENT_seatbelt)



Tipos de Elementos

- Lineales de 2 nodos:
 - viga (*ELEMENT_beam)
 - barra (*ELEMENT_beam)
 - polea (*ELEMENT_beam_pulley)
- Superficiales (3, 4, 6 u 8 nodos)
 - Cascarón 3D (*ELEMENT_shell)
 - Membrana (*ELEMENT_shell)
 - Esfuerzo plano, deformación plana y axisimetría 2D (*ELEMENT_shell)
- Cascarón grueso (8 nodos, *ELEMENT_tshell)
- Sólidos (4, 10, 8, 20 o 27 nodos, *ELEMENT_solid)



Comentarios Generales

- Existen más elementos
 - Pretensor de cinturón de seguridad (*ELEMENT_seatbelt_pr etensioner)
- Cada elemento necesita de una sección (*SECTION) en donde se definen diferentes formulaciones y otros parámetros. Por ejemplo, el segundo campo de la tarjeta *SECTION_beam permite seleccionar las siguientes opciones:

Element formulation options:
EQ.1: Hughes-Liu with cross section integration (default).
EQ.2: Belytschko-Schwer resultant beam (resultant).
EQ.3: truss (resultant), see remark 2.
EQ.4: Belytschko-Schwer full cross-section integration.
EQ.5: Belytschko-Schwer tubular beam with cross-section integration.
EQ.6: discrete beam/cable.
EQ.7: 2D plane strain shell element (xy plane).
EQ.8: 2D axisymmetric volume weighted shell element (xy plane, y-axis of symmetry).
EQ.9: spotweld beam, see *MAT_SPOTWELD.
EQ.11: integrated warped beam
EQ.12: resultant warped beam
EQ.13: small displacement, linear Timoshenko beam with exact stiffness.
EQ.14: Elbow integrated tubular beam element. An user defined



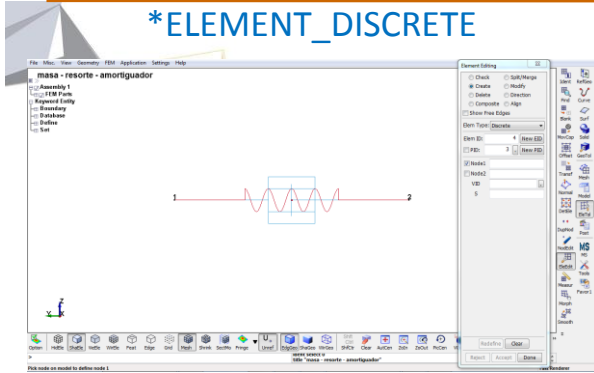
*ELEMENT_DISCRETE

- Requiere: número de identificación (ID) de elemento, ID de parte
- ID de 2 puntos nodales, orientación, factor de escalamiento de la fuerza
- Propiedades de resorte definidas con *MAT_SPRING
- Propiedades de amortiguamiento definidas con *MAT_DAMPER

```
*ELEMENT_DISCRETE
$# eid pid n1 n2 vid s pf offset
1 1 1 2 0 0.0 0
```



*ELEMENT_DISCRETE



*SECTION_DISCRETE

Define si los elementos resorte o amortiguador son de traslación o rotación, así como el factor de magnificación dinámica, límites de tensión/compresión, etc.

\$ Note: These examples are in kg, mm, ms, kN units.

\$ A translational spring (dro = 0) is defined to have a failure deflection

\$ of 25.4 mm (fd = 25.4). The spring has no dynamic effects or

\$ deflection limits, thus, those parameters are not set.

*SECTION_DISCRETE

\$

\$1.....>.....2.....>.....3.....>.....4.....>.....5.....>.....6.....>.....7.....>.....8

\$	sid	dro	kd	v0	cl	fd
	1	0	4	0		25.4



*MAT_SPRING_option

- Elástico
- Elasto-plástico (E, Et, SGMY)
- Elástico no lineal
- Inelástico (permite sólo tensión o compresión)
- No lineal general (pendiente negativa o cero en la curva F vs. d)
- Maxwell (decaimiento exponencial de la rigidez)

*MAT_SPRING_ELASTIC

\$	MID	K
	2	0.100E+00

*MAT_SPRING_NONLINEAR_ELASTIC

\$	MID	LCD
	2	99



*MAT_DAMPER_option

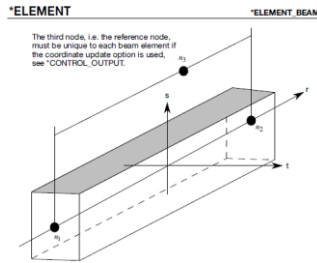
Material 2 para elementos discretos. Provee un amortiguador traslacional o rotacional entre dos nodos. Puede ser

- Viscoso
- No lineal viscoso

```
*SECTION_DISCRETE_TITLE
Dumper
$#  secid  dro  kd  v0  cl  fd
   2    0  0.000  0.000  0.000  0.000
$#  cdl  tdl
   0.000  0.000
*MAT_DAMPER_VISCOUS_TITLE
Mat_Dumper
$#  mid  dc
   2  8.0E-3
```



*ELEMENT_BEAM



Requiere:

- ID de elemento,
- ID de parte,
- ID de 3 puntos nodales

```
*ELEMENT_BEAM
$  EID  PID  N1  N2  N3
   1    3    1    2   35
```



*SECTION_BEAM

Define las propiedades de sección transversal para vigas, barras, vigas discretas y cables.

- Barra (sólo deformación axial)
- Viga (deformaciones axiales, por flexión y por torsión)
- Diferentes formulaciones para la viga,
- Diferentes tipos de sección transversal
 - Rectangular, tubular, arbitraria, área e inercia
- También se incluye el torcimiento.

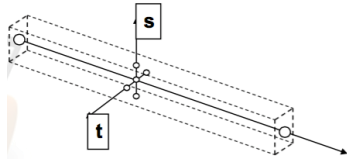
```
*SECTION_BEAM
$  SID  ELFORM
   4    1
$  TS1  TS2  TT1  TT2
   2.0  2.0  2.0  2.0
```



*ELEMENT BEAM

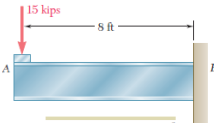
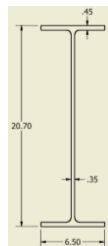
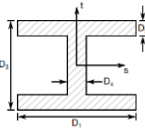
ELFORM=1: Hughes-Liu (por defecto), recomendado

- 6 grados de libertad por nodo: (dx, dy, dz, rx, ry, rz)
- Un punto de integración a lo largo de la longitud
- Factor de corrección por cizallamiento
- Opción de plano neutro movable
- Direcciones de "s" y "t" definidas por el nodo de orientación, n3



Demo 5

- Genere un modelo del problema mostrado utilizando elementos **Beam** (W21x44)
- Las dimensiones de la sección transversal, así como de los parámetros en LS-DYNA se muestra en las figuras.



Shape	S, in ³
W21 x 44	81.6

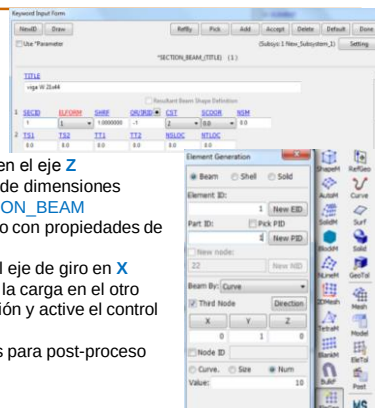
$$\sigma_{\max} \approx \frac{M_{\max}}{S}$$

$$M_{\max} = (15000)(96) = 1440 \text{ klb} \cdot \text{in}$$

Figure 35-1. SECTION_01 ⇒ I-Shape



Demo 5



1. Genere una línea de 96" en el eje **Z**
2. Genere una sección viga de dimensiones definidas en ***INTEGRATION_BEAM**
3. Defina un material elástico con propiedades de acero (lbf-in-s)
4. Malle la línea indicando el eje de giro en **X**
5. Fije un extremo y aplique la carga en el otro
6. Defina el tiempo de solución y active el control del paso de tiempo
7. Defina las bases de datos para post-proceso
8. Resuelva
9. Revise los resultados



Demo 5

- Desplazamiento máximo

$$\delta_{\max} \approx -\frac{PL^3}{3EI} = -\frac{15000(96)^3}{3(30e6)(843)} = -0.174in$$

- Esfuerzo máximo

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S} = \frac{15000(96)}{81.6} = 17647 \text{ psi}$$

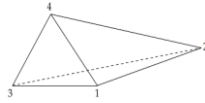


*ELEMENT_SOLID

Define elementos sólidos 3D que incluyen tetras de 4 nodos, cuñas de 6 y hexas de 8 nodos.

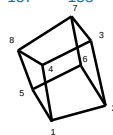
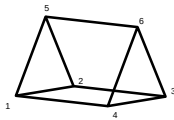
Requiere:

- ID de elemento,
- ID de parte,
- 8 nodos para elemento bloque



*ELEMENT_SOLID

\$	NID	PID	N1	N2	N3	N5	N6	N7	N8
	1	1	76	78	80	156	157	158	159



*SECTION_SOLID

Define propiedades de sección para elementos continuos sólidos y fluidos.

- Diferentes formulaciones
- Integración reducida con 8 nodos
- Integración completa con 8 nodos
- Cuña, elementos lineales y no lineales
- Otros elementos para aplicaciones acopladas

*SECTION_SOLID

\$	SID	ELFORM
	1	1

EQ.-2: Fully integrated S/R solid intended for elements with poor aspect ratio, accurate formulation (see Remark 15)

EQ.-1: Fully integrated S/R solid intended for elements with poor aspect ratio, efficient formulation (see Remark 15)

EQ.0: 1 point corotational for *MAT_MODIFIED_HONEY-COMB (see Remark 3)

EQ.1: Constant stress solid element: default element type.

EQ.2: Fully integrated S/R solid (see Remark 4)

EQ.3: Fully integrated quadratic 8 node element with nodal rotations

EQ.4: S/R quadratic tetrahedron element with nodal rotations

EQ.5: 1 point ALE

EQ.6: 1 point Eulerian

EQ.7: 1 point Eulerian ambient

EQ.8: Acoustic

EQ.9: 1 point corotational for *MAT_MODIFIED_HONEY-COMB (see Remark 3)

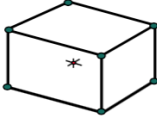
EQ.10: 1 point tetrahedron (see Remark 1)



*SECTION_SOLID

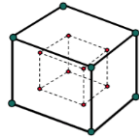
ELFORM=1: Sólido lineal, de esfuerzo constante (por defecto)

- Punto único de integración
- Eficiente y preciso
- Requiere control de *hourglass*
- Puede soportar gran deformación no lineal



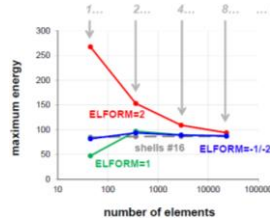
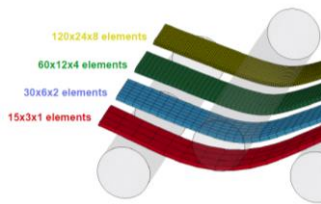
ELFORM=2: Sólido de integración selectiva

- Bloqueo volumétrico aliviado
- Más lento que ELFORM=1
- No requiere estabilización de *hourglass*
- Demasiado rígido en razones de aspecto pobres
- Inestable a gran deformación



Comparación de Formulaciones

explicit plastic 3 point bending (prescribed motion)
plate of dimensions 300x60x5 mm³
*MAT_024 (aluminum)
convergence study - aspect ratio 4:1 kept constant



CPU times

- ELFORM = 1: 56 minutes
- ELFORM = 2: 116 minutes
- ELFORM = -1: 136 minutes
- ELFORM = -2: 542 minutes



Elementos Tetraédricos

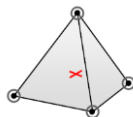
ELFORM=10: Sólido lineal, de esfuerzo constante

- Punto único de integración
- Tiende a bloqueo volumétrico
- Aplicable a espumas con $\nu = 0$
- Puede soportar gran deformación no lineal



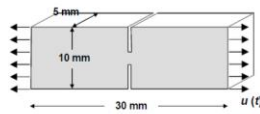
ELFORM=13: Sólido lineal, de esfuerzo constante con promediado de presión nodal

- Punto único de integración
- Reduce el bloqueo volumétrico
- Mejor desempeño que el tetra **ELFORM=10** si $\nu > 0$
- Trabaja con muchos modelos de material





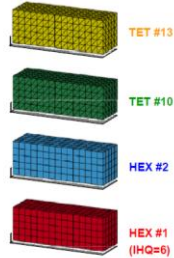
Comparación de Elementos / Formulaciones



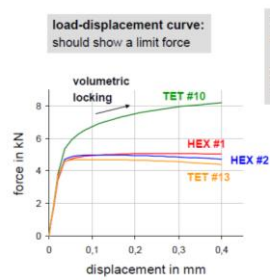
*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY

$E = 206.9 \text{ kN/mm}^2$
 $\nu = 0.29$
 $\sigma_y = 0.45 \text{ kN/mm}^2$
 $E_t = 0.02 \text{ kN/mm}^2$ (nearly ideal plastic)

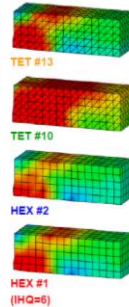
discretized quarter system:



Comparación de Elementos / Formulaciones



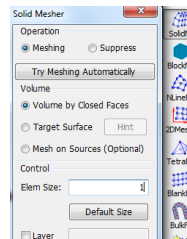
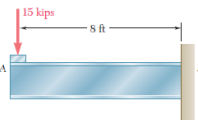
von Mises stresses
0 - 480
N/mm²



Demo 6

Simule el problema utilizando elementos **Solid**

1. Importe el modelo CAD de la viga, en formato STEP. Escale el modelo; está en mm.
 2. Defina un material elástico con propiedades de acero (lb-f-in-s)
 3. Defina la sección sólida ELFORM=1
 4. Malle con la opción Solid Mesher y tamaño de 1"
 5. Fije un extremo y aplique la carga en el otro
 6. Defina el tiempo de solución y active el control del paso de tiempo
 7. Defina las bases de datos para post-proceso
 8. Resuelva
 9. Revise los resultados preliminares
 10. Compare vs. la solución implícita
- ¿Qué pasó?...

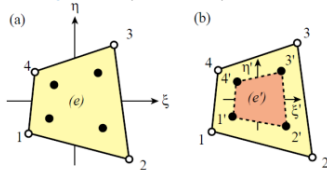




Integración Numérica

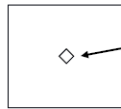
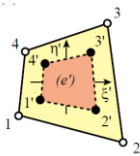
En MEF, el desplazamiento debe ser continuo en los nodos. Sin embargo, la deformación unitaria, *strain*, en un nodo compartido por dos elementos adyacentes *en general no será la misma*.

Por lo anterior, se prefiere calcular deformaciones unitarias y esfuerzo en localizaciones internas del elemento conocidas como *puntos de integración* (de Gauss),



Elementos total y parcialmente integrados

- En la mayoría de las formulaciones por defecto, los elementos de LS-DYNA son parcialmente integrados (*under-integrated*).
- En lugar de utilizar puntos de integración en número similar a los nodos, las deformaciones se calculan en el punto central de cada elemento.



Integration point (s)



Elementos parcialmente integrados

VENTAJAS:

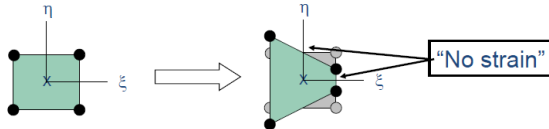
- Eficiencia computacional, el modelo de material es llamado una sola vez por cada paso de tiempo.
- Tendencia a "ablandar" los elementos, lo que contrarresta la rigidez artificial asociada con el campo de desplazamientos asumido en el MEF.
- Reduce el bloqueo por cortante en elementos cascarón sujetos a cargas cortantes transversales.
- Reduce el bloqueo volumétrico en elementos sólidos.

Una desventaja importante es la generación de *modos de cero energía de deformación*.



Modos de Cero Energía

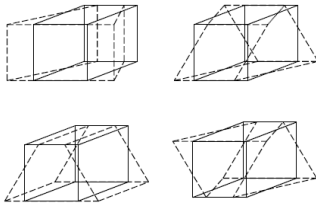
- Los elementos tienden a deformarse con modos de deformación unitaria nula.
- Si la deformación unitaria es nula, la energía de deformación es cero y esa deformación no contribuye a la energía de deformación del sistema.
- Algunos de estos modos recuerdan la forma de un reloj de arena, por lo que a este problema se le llama “*hourglassing*”.





Modos de Cero Energía en Elementos Sólidos

- Los elementos sólidos **parcialmente integrados** tienen 12 modos de hourglass (HG).
- La figura muestra los cuatro primeros modos.





Minimizando el Hourglassing

- Los elementos **totalmente integrados** no presentan HG.
 - La integración completa es más costosa
 - Estos elementos pueden ser menos robustos en grandes deformaciones.
- Los elementos tetraédricos (y superficiales triangulares) no presentan HG.
 - Pero tienden a ser más rígidos y bloquearse numéricamente.
- Para elementos susceptibles a HG, es posible aplicar fuerzas internas que ayudan a reducirlo, a esto se le llama control de hourglass y se activa con la tarjeta ***CONTROL_hourglass**



Controles de Hourglass

Viscoso

- Generan fuerzas proporcionales a la velocidad de los nodos que podrían contribuir a generar HG.
- Se recomiendan para problemas de altas velocidades de deformación, p.e., aquellos que involucran explosivos.

Por rigidez

- Generan fuerzas proporcionales al desplazamiento de los nodos que podrían contribuir a generar HG.
- Preferidos para problemas de baja velocidad de deformación, incluyendo impacto y estampado.
- Podrían aumentar la rigidez del sistema, por lo que se recomienda reducir el valor por defecto de 0.1 a 0.05 o 0.03.



Controles de Hourglass en Sólidos

Viscoso

- 3 formas de control viscoso (IHQ=1,2,3). El coeficiente (QH) debe ser menor a 0.15

Por rigidez

- 2 formas de control por rigidez (IHQ=4,5). El coeficiente (QH) debe ser menor a 0.1, se recomienda 0.03.

*CONTROL_HOURLASS (1)	
1	
IHQ	QH
1	0.0300000

COMMENT:

IHQ=Default hourglass viscosity type:
EQ 1: standard LS-DYNA
EQ 2: Flanagan-Belytschko integration
EQ 3: Flanagan-Belytschko with exact volume integration
EQ 4: stiffness form of type 2 (Flanagan-Belytschko)
EQ 5: stiffness form of type 3 (Flanagan-Belytschko)



Demo 7

1. Guarde el deck explícito de la viga 3D en otra carpeta
 2. Agregue el control de hourglass tipo 4, con coeficiente de 0.03
 3. Agregue la tarjeta *CONTROL_ENERGY y modifique el parámetro HGEN=2
 4. Revise los resultados de esfuerzo y desplazamiento
- ¿Qué pasó?...
5. Revise los resultados de energía (*ASCII*, *glstat*) e incluya la de HG
 6. Modifique el coeficiente a fin de reducir la energía de HG respecto a la total.
 7. Intente con la opción 6 y un coeficiente de 1.0

*CONTROL_ENERGY (1)	
Use *Parameter	
(Subsys: 1 viga001.k.k) Setting	
1	
HGEN	RVEN
2	2



Recomendaciones

1. Refine la malla lo más que pueda a fin de reducir el HG sin introducir fuerzas artificiales
2. Si requiere controlarlo, asegure que la energía de HG es menor al 10% de la energía interna.
3. Distribuir las cargas, en lugar de concentrarlas, tienden a reducir la deformación de HG.
4. El control de HG se puede aplicar a nivel de cada parte, con el parámetro **HGID** en combinación con tarjetas ***HOURLASS**.
5. Si el problema persiste, intente utilizar otra formulación de elemento.



*ELEMENT_SHELL_option

- Define elementos superficiales de 3, 4, 6 u 8 nodos que incluyen membranas, cascarones 3D, elementos 2D para esfuerzo, deformación plana y axisimétricos.
- El tipo y formulación del elemento se especifican con su identificador de parte y sección.
- Requiere: ID de elemento, ID de parte y 4 nodos, en caso de elementos cuadrilateros
- El grosor puede ser definido en la tarjeta del elemento con la opción **THICKNESS**

*ELEMENT_SHELL

```
$# eid pid n1 n2 n3 n4 n5 n6 n7 n8
831 1 775 1111 1115 1114 0 0 0 0
```



*SECTION_SHELL

Define propiedades de sección para elementos *shell*

- Formulación variada
- Elemento plano y axisimétrico están definidos como cascarón (shell)
- Cascarones lineales y no lineales
- Cascarones integrados en forma parcial o completa
- Otros elementos especiales y acoplados

*SECTION_SHELL

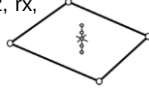
```
$# secid elform shrf nip propt qr/irid icomp setyp
1 16 0.8333 5 1.0 0 0 1
$# t1 t2 t3 t4 nloc marea idof edgset
&thk &thk &thk &thk 0.0 0.0 0.0 0
```



Formulaciones Recomendadas

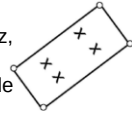
ELFORM=2: Belytschko-Tsay (por defecto)

- 6 grados de libertad por nodo: (dx, dy, dz, rx, ry, rz)
- Punto único de integración
- Requiere control de HG (tipo 4 o 5)
- Eficiente y robusta a grandes deformaciones



ELFORM=16 Elemento Shell totalmente integrado, recomendado

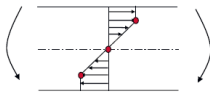
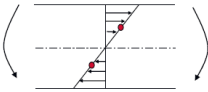
- 6 grados de libertad por nodo: (dx, dy, dz, rx, ry, rz)
- Integración 2x2 con formulación de deformación unitaria mejorada
- 3x más "lenta" que ELFORM=2



Puntos de Integración en el Espesor

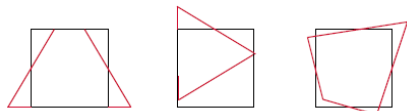
El número de puntos de integración en el espesor es controlado con el parámetro NIP, en *SECTION_SHELL, y define el comportamiento del elemento:

- NIP=1, membrana (ignora la flexión en el elemento)
- NIP=2, comportamiento elástico lineal (por defecto)
- NIP=3+, recomendado para materiales no lineales
- NIP=5, recomendado para estampado



Modos de Cero Energía en Elementos Shell

- Los elementos Shell **parcialmente integrados** tienen 5 modos de hourglass (HG).
- La figura muestra los tres primeros modos.



Controles de Hourglass en Shells

Viscoso

- 1 forma de control viscoso (IHQ=1,2,3 dan el mismo resultado).

Por rigidez

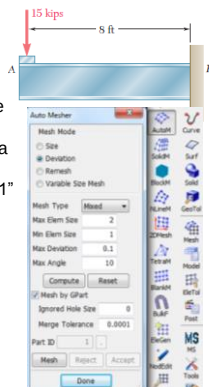
- 1 forma de control por rigidez (IHQ=4,5 dan el mismo resultado).

Para evitar el torcimiento (warping) en la formulación **ELFORM=16**, se recomienda IHQ=8

Demo 8

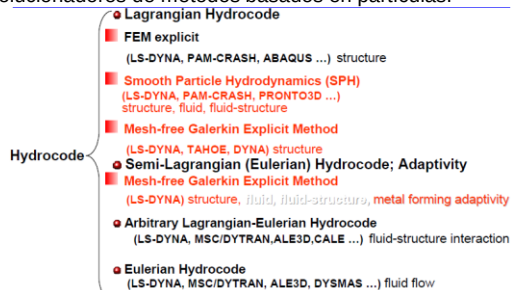
Simule el problema utilizando elementos **Shell**

1. Abra el proyecto (archivo.proj) de la viga y obtenga su plano medio
2. Defina un material elástico con propiedades de acero (Ibf-in-s)
3. Defina 2 secciones Shell ELFORM=2, una para cada espesor
4. Malle con la opción Auto Mesher y tamaño de 1"
5. Fije un extremo y aplique la carga en el otro
6. Defina el tiempo de solución y active el control del paso de tiempo
7. Defina las bases de datos para post-proceso
8. Resuelva
9. Revise los resultados



Métodos sin Elementos

- Además de elementos FEM, LS-DYNA incluye solucionadores de métodos basados en partículas.





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
