



INTRODUCCIÓN A LS-DYNA® (4 SAFETY)



Contenido

- 1.2. Integración en el tiempo: Implícito vs. Explícito
 - 1.2.1. Método Implícito vs. Explícito
 - 1.2.2. Paso de tiempo crítico



Estabilidad del Método Explícito

Ha sido matemáticamente demostrado* que el MDC es condicionalmente estable, es decir produce resultados precisos, siempre y cuando,

$$\Delta t \leq \frac{2}{\omega_{\max}}$$

Paso de tiempo crítico con amortiguamiento:

Para ecuaciones de movimiento con amortiguamiento, el paso de tiempo crítico se reduce,

$$\Delta t \leq \frac{2}{\omega_{\max}} \left(\sqrt{1 + \xi^2} - \xi \right)$$

* Vease, por ejemplo, Bathe, K. J., Finite Element Procedures in Engineering Analysis 3



Estabilidad del Método Explícito

- El tamaño del paso de tiempo está limitado por la frecuencia natural máxima de la estructura, que a su vez está limitada por la mayor frecuencia de cualquier elemento (deformable) en la malla.
- Dependiendo del problema, esto podría significar muchos pasos a resolver, lo que haría la solución impráctica. En esos casos, el método implícito podría ser una alternativa.
- La condición de estabilidad del método explícito se conoce como la condición de Courant (Courant-Friedrichs-Lewy) y está relacionada con el tiempo en que una onda de esfuerzo atraviesa un elemento.

4



Paso de Tiempo Crítico

Asumiendo que la onda de esfuerzo se propaga a la velocidad del sonido en el material, C_{aws}

$$C_{aws} \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

El paso de tiempo crítico debería ser menor al tiempo que le toma a la onda de esfuerzo atravesar un elemento,

$$\Delta t \leq \frac{L_e}{C_{aws}}$$



Donde L_e es la longitud característica del elemento

5



Longitudes Características

ELEMENTOS SÓLIDOS (8 nodos): $L_e = \frac{v_e}{A_{e\max}}$

v_e es el volumen del elemento y $A_{e\max}$ es el área del lado mayor.

Para elementos tetraédricos de 4 nodos, L_e es la altura menor.

$$C_{aws} \approx \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

Se puede comparar el paso de tiempo mínimo de un elemento sólido contra una barra, en función de su relación de Poisson:

$$\alpha = \frac{\Delta t_{\text{sólido}}}{\Delta t_{\text{barra}}}$$

ν	0	0.2	0.3	0.4	0.45	0.49
α	1.	0.949	0.862	0.683	0.513	0.242



Longitudes Características

ELEMENTOS SHELL:

Existen 4 opciones (ISDO en *CONTROL_TIMESTEP) para calcular la longitud característica, por defecto se utiliza la siguiente fórmula,

$$L_e = \frac{(1 + \beta)A_s}{\max(L_1, L_2, L_3, (1 - \beta)L_4)} \quad C_{avg} \approx \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \nu^2)}}$$

$\beta=0$ para un elemento cuadrilátero y $\beta=1$ para uno triangular. L_i son las longitudes de cada lado del elemento y A_s su área.

$$\beta = \frac{\Delta t_{shell}}{\Delta t_{barra}}$$

ν	0	0.2	0.3	0.4	0.5
β	1.0	0.98	0.954	0.917	0.886



Velocidades de Ejecución

Es claro que a menor paso de tiempo, mayor tiempo de solución (cómputo). La siguiente tabla muestra velocidades relativas de diferentes elementos usando como referencia el elemento barra.

Element Type	Relative Cost
8 node solid with 1 point integration and default hourglass control	4
as above but with Flanagan-Belytschko hourglass control	5
constant stress and Flanagan-Belytschko hourglass control, i.e., the Flanagan-Belytschko element	7
4 node Belytschko-Tsay shell with four thickness integration points	4
4 node Belytschko-Tsay shell with resultant plasticity	3
BCIZ triangular shell with four thickness integration points	7

8



Cálculo del Paso de Tiempo

En cada paso de tiempo, LS-DYNA hace un ciclo que incluye los N elementos del modelo, donde actualiza su esfuerzo y calcula el tamaño del siguiente paso de tiempo, Δt_{n+1}

$$\Delta t_{n+1} = a \min\{\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_N\}$$

Por razones de estabilidad, el factor de escala a es típicamente 0.9, o un valor menor, y se controla con el parámetro **TSSFAC** de la tarjeta ***CONTROL_TIMESTEP**

Card 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	DTINT	TSSFAC	ISDO	TSUMT	DT2MS	LCTM	ERODE	MS1ST
Type	F	F	I	F	F	I	I	I
Default	-	0.9 or 0.67	0	0.0	0.0	0	0	0

9



Escalamiento de Masa

Considere un elemento shell cuadrado de acero y 1 mm de longitud:

$$L_e = 1mm \quad C_{aves} \approx \sqrt{\frac{200000}{0.00783(1-0.3^2)}} = 5298mm/ms \quad \Delta t \leq 1.88E-4ms$$

Una manera de reducir el tiempo de cómputo es, en aquellos casos donde los efectos inerciales pueden ser despreciables, **aumentar la densidad del material.**

Cada vez que se agrega masa a la estructura, se afectan los resultados ($F=m*a$). Esto puede ser aceptable en problemas cuasi-estáticos, con baja velocidad y energía cinética en relación a la energía de deformación, o en aquellos elementos alejados de las zonas críticas del modelo.



Escalamiento de Masa (DT2MS)

El escalamiento de masa se puede controlar con el parámetro **DT2MS** de la tarjeta ***CONTROL_TIMESTEP**

Cuando **DT2MS** se introduce con un valor negativo, solamente se agrega masa a aquellos elementos cuyo paso de tiempo, sin escalamiento, sería menor que $TSSFAC*|DT2MS|$

Para determinar cuándo y dónde se agrega la masa, escriba los archivos **GLSTAT** y **MATSUM** en ***DATABASE_OPTION**

Card 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	DTINIT	TSSFAC	ISDO	TSLIMIT	DT2MS	LCTM	ERODE	MS1ST
Type	F	F	I	F	F	I	I	I
Default	-	0.9 or 0.67	0	0.0	0.0	0	0	0



Escalamiento de Masa (MS1ST)

El parámetro **MS1ST** de la tarjeta ***CONTROL_TIMESTEP** controla si la masa se agrega durante todo el análisis ($MS1ST=0$, valor por defecto) o únicamente al inicio del análisis ($MS1ST=1$).

El escalamiento de masa debe ser usado con cuidado y no debería superar el 5% de la masa del sistema.

Card 1	1	2	3	4	5	6	7	8
Variable	DTINIT	TSSFAC	ISDO	TSLIMIT	DT2MS	LCTM	ERODE	MS1ST
Type	F	F	I	F	F	I	I	I
Default	-	0.9 or 0.67	0	0.0	0.0	0	0	0



Demo 4

- Dibuje una línea de 500 mm en el eje X
- Genere 10 elementos viga (Element generation → BEAM)
- Defina un tipo de elemento barra (*SECTION_BEAM → ELFORM:3)
- Defina un material elástico y asigne propiedades del acero
- Asigne material y sección a la parte 1
- Revise el paso de tiempo (Element Edit → Check → time step) y compare contra la fórmula
- Agregue *CONTROL_TIMESTEP y revise de nuevo
- Dibuje un bloque cuadrado de 10x10 mm y 500 mm de longitud.
- Genere elementos sólidos de 50 mm.
- Defina un tipo de elemento sólido
- Defina un material elástico y asigne propiedades del acero
- Asigne material y sección a la parte 2
- Revise el paso de tiempo

$$\Delta t \leq \frac{L_e}{C_{aws}} \quad C_{aws} \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$



Workshop 2: Viga Empotrada

1. Siga las instrucciones del documento [Workshop2_viga.pdf](#)
2. Genere el deck para analizar el mismo problema utilizando el solucionador explícito.
3. Compare resultados y tiempo de solución entre ambos casos.



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
