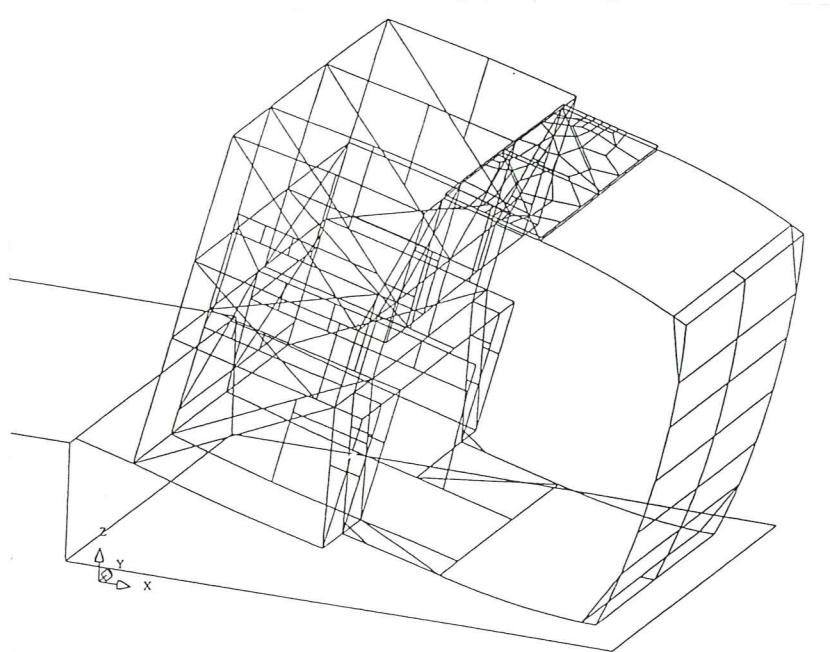


# Simulación del choque de vehículos por el método de los elementos finitos. Programa "SIMPACT"

J. Miquel Canet  
E. Oñate  
J. Rojek



**Simulación del choque de  
vehículos por el método  
de los elementos finitos  
Programa "SIMPACT"**

**J. Miquel Canet  
E. Oñate  
J. Rojek**

**Publicación CIMNE Nº 71, Octubre 1995**



# SIMULACION DEL CHOQUE DE VEHICULOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS. PROGRAMA "SIMPACT"

Juan Miquel Canet  
Eugenio Oñate  
y  
Jerzy Rojek

*Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Edificio C1, Gran Capitán, s/n  
08034 Barcelona, España*

## RESUMEN

En este trabajo se presentan las principales características del programa de ordenador "SIMPACT" desarrollado en el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería de Barcelona para la simulación numérica de problemas de impacto y choque de vehículos. El programa se basa en una formulación de elementos finitos de lámina no lineal incorporando también elementos de sólido y de viga para modelar correctamente todos los componentes resistente típicos de estructuras de vehículos.

El programa permite la utilización de algoritmos de integración en el tiempo explícitos incluyendo además modelos constitutivos para materiales compuestos. Los ejemplos que se presentan muestran la aplicación del programa a la deformación de una puerta sometida a un ensayo penetración lateral, el choque frontal de un prototipo de vehículo industrial, y el vuelco de una cabina de autobús.

## 1. INTRODUCCION

El estudio numérico del choque de vehículos puede considerarse un caso particular del problema más general de análisis del comportamiento no lineal de una estructura sometida a cargas dinámicas. Esta categoría de problemas puede considerarse de las más complejas en el campo del análisis estructural pues precisa conocimientos profundos de cálculo dinámico, análisis geoméricamente no lineal de estructuras y teorías de comportamiento no lineal de materiales, así como de técnicas del tratamiento del contacto y rozamiento entre cuerpos deformables.

Los progresivos avances en el desarrollo de métodos numéricos para problemas de dinámica no lineal, tales como el método de los elementos finitos [1], han facilitado la elaboración de técnicas numéricas sofisticadas que sobre el papel permiten hoy en día la simulación por ordenador de problemas de choque de vehículos. No obstante, muchos de estos problemas involucran miles, y en ocasiones cientos de miles, de incógnitas por lo que el estudio de problemas de choque en los que se consideran un número elevado de elementos estructurales y materiales sofisticados, exige un considerable esfuerzo de cálculo, sólo resoluble en muchos casos con la ayuda de los superordenadores más potentes.

No obstante esta inherente dificultad, la mayoría de los programas comerciales de cálculo de estructuras por el método de los elementos finitos (tales como ABACUS [3], ADINA [4], ANSYS [5], MARC [7], MSC-DYNA [8], SAMCEF [12], etc.) incluyen posibilidades más o menos elaboradas para el estudio de problemas de choque de vehículos. Algunos de estos programas tales como DYNA3D [6], PAMCRASH [9] se han desarrollado pensando exclusivamente en aplicaciones de este tipo. No obstante, es la opinión de los autores que ninguno de estos programas está totalmente preparado para abordar con rigurosidad todos los problemas que surgen en el análisis del choque de un vehículo, particularmente en el caso de que sus elementos resistentes estén constituidos por materiales compuestos. Asimismo, es también conocido que los programas mencionados no se adaptan con facilidad a su utilización en las nuevas arquitecturas de cálculo, y en particular las de cálculo con procesadores paralelos. Un análisis más detallado de las características de estos programas en el contexto del choque de vehículos puede encontrarse en la referencia [2].

Con objeto de cubrir al máximo estas deficiencias, el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería de Barcelona ha llevado a cabo durante los últimos cinco años un proyecto para desarrollar los aspectos teóricos y el correspondiente programa de ordenador que permita simular problemas de choque de vehículos, teniendo en cuenta la posibilidad de utilizar materiales compuestos [15]. Dicho programa, denominado "*SIMPACT*", además está adaptado a las posibilidades de las nuevas arquitecturas de ordenadores vectoriales y paralelos. En los apartados siguientes se presentan los aspectos más significativos de este programa, actualmente en avanzado estado de realización, así como varios ejemplos de aplicación de la versión actual de "*SIMPACT*" [15,16].

## 2. CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA "*SIMPACT*"

Presentamos seguidamente las características fundamentales del programa de ordenador "*SIMPACT*" para análisis de choque de vehículos desarrollado en el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería de Barcelona [15,16]. Para mayor claridad se considerarán por separado los diferentes aspectos de modelización geométrica, modelo cinemático, ecuación constitutiva, modelos de contacto y rozamiento, delaminación de materiales laminados, esquemas de integración en el tiempo, pre y post proceso, y posibilidades de vectorización y paralelización.

## 2.1 Modelización geométrica

La metodología de análisis se basa en el método de los elementos finitos. La discretización de la geometría del vehículo combina la utilización de elementos de sólido tridimensional, elementos de viga y elementos de lámina. Entre los elementos disponibles destacan los siguientes:

- Elementos de sólido tridimensional prismáticos isoparamétricos de 8 ó 20 nodos y tetraédricos de 4 ó 10 nodos.
- Elementos de pieza curva de Timoshenko de dos o tres nodos.
- Elementos de lámina tridimensionales, degenerados de elementos de sólido, cuadriláteros de 4 ó 9 nodos y triangulares de 3 ó 6 nodos.

Para la discretización de la estructura se han desarrollado en CIMNE generadores de malla adecuados a cada una de las tipologías de elementos anteriores con la posibilidad de generar mallas no estructuradas [17].

## 2.2 Modelo cinemático

El modelo cinemático permite tratar dos aspectos fundamentales del análisis de estructuras de vehículos: a) la simulación del comportamiento de materiales tradicionales y compuestos y b) la inclusión de efectos de grandes desplazamientos para análisis de problemas de choque de vehículos. Comentaremos seguidamente ambos aspectos.

Para la modelización de placas y láminas con materiales compuestos multicapa se utiliza un modelo cinemático basado en una aproximación bidimensional por capas. La base fundamental de dicho modelo es que se supone una variación lineal de los desplazamientos en cada una de las capas en que se discretiza el espesor. Por otra parte, si el espesor del laminado es moderadamente delgado puede suponerse adicionalmente sin pérdida de precisión, que el desplazamiento normal a las capas no varía con el espesor.

Dicho modelo cinemático permite reproducir con gran exactitud las complejas distribuciones de desplazamientos superficiales con el espesor del laminado. Asimismo, permite tener en cuenta la existencia de tensiones de corte interlaminares diferentes en cada capa. La utilización práctica de dicho modelo se simplifica enormemente haciendo uso de técnicas de subestructuración.

Adicionalmente el modelo cinemático incluye los términos completos de segundo orden en las derivadas de los desplazamientos para posibilitar el análisis geoméricamente no lineal con presencia de grandes desplazamientos y deformaciones típico de problemas de choque de vehículos. El modelo cinemático no lineal se basa en una formulación Lagrangiana Generalizada, con la posibilidad de adoptar de manera sencilla las opciones de la formulación Lagrangiana Total o Lagrangiana Actualizada [15].

### 2.3 Ecuación constitutiva

La definición de la ecuación constitutiva es uno de los aspectos fundamentales para el análisis de estructuras en materiales compuestos. “*SIMPACT*” utiliza un modelo basado en la teoría de mezclas que permite diseñar con gran generalidad ecuaciones constitutivas para materiales multifásicos, a partir del conocimiento del comportamiento de cada una de las fases integrantes. El modelo propuesto se simplifica a los casos más simples de material unifásico elástico ortótropo y a los modelos de material bifásico ya utilizados por diversos autores para tratar el caso de materiales compuestos con fibras largas y matriz polímera.

El modelo multifase utilizado incluye naturalmente la posibilidad de análisis no lineal mediante un modelo de daño generalizado que permite seguir con precisión la evolución de la degradación y la eventual rotura del conjunto multifásico, así como de cada una de las fases constituyentes del compuesto. Para una descripción detallada de las bases teóricas del modelo constitutivo propuesto se recomienda consultar la referencia [2].

### 2.4 Modelo de contacto y rozamiento

En problemas de choque de vehículos es indispensable disponer de un modelo de contacto friccional entre cuerpos deformables. La formulación de contacto que utiliza el programa “*SIMPACT*” se basa en un proceso de busca selectiva combinado con la técnica de penalización. Una descripción detallada de esta formulación puede encontrarse en [18].

En cuanto a modelos de rozamiento se han incluido la mayoría de los actualmente existentes dada la dificultad de decidir entre un modelo u otro, tema actualmente en investigación en todo el mundo, y fundamentalmente en problemas dinámicos de contacto. Esto implica que se están implementando modelos de rozamiento de tipo Coulomb y cinemáticos, con leyes de rozamiento lineales y no lineales, así como de carácter local y no local. Una descripción precisa de dichos modelos puede encontrarse en [2,11,15].

### 2.5 Tratamiento de la delaminación y el rozamiento entre capas

La buena modelización de la delaminación y el rozamiento entre capas de un laminado es una de las asignaturas pendientes de los programas comerciales disponibles para análisis de estructuras con materiales compuestos. La delaminación implica una separación física entre capas que es incompatible con las hipótesis de sólido continuo implícitas en todas las formulaciones de elementos finitos. La simulación correcta de la delaminación exige tratar la capa que se despega como un elemento de lámina, o de sólido independiente del elemento de laminado, estableciendo los vínculos de contacto y rozamiento adecuados. Naturalmente en grandes problemas tridimensionales, como puede ser la simulación del choque de vehículos, la implementación del algoritmo anterior puede ser excesivamente cara, aspecto este que debe investigarse con detalle para intentar encontrar técnicas que puedan acelerar dicho algoritmo.

Otra alternativa para simular de forma más aproximada la delaminación es prescindir de la contribución de la rigidez de la capa que se separa en el conjunto de la rigidez del laminado. El criterio de separación de capas puede establecerse a partir de los valores de las tensiones tangenciales transversales interlaminares, de acuerdo con los valores detectados experimentalmente. Esta técnica implementada en "*SIMPACT*" no está disponible de forma inmediata en la mayoría de los programas comerciales actuales.

La simulación del rozamiento entre capas exige también la utilización de técnicas sofisticadas. La solución adoptada en "*SIMPACT*" es introducir un *elemento de rozamiento* entre cada capa. Dicho elemento es una capa de espesor prácticamente nulo en la que la ley constitutiva del material simula la ley de rozamiento escogida. Este procedimiento es naturalmente muy costoso y no está disponible en la mayoría de los programas comerciales existentes.

Una alternativa más sencilla para tener en cuenta el rozamiento entre láminas, también implementada en "*SIMPACT*" es establecer un criterio global para el despegue horizontal de una capa con respecto a otra y prescindir de la rigidez a membrana correspondiente a la capa que desliza en la rigidez del conjunto del laminado. Este método tampoco está disponible comercialmente.

## 2.6 Esquemas de integración en el tiempo

La solución de problemas de choque de vehículos implica la integración en el tiempo de las ecuaciones dinámicas de equilibrio. En "*SIMPACT*" se ha escogido un algoritmo de integración explícito por sus ventajas en cuanto a capacidad de resolver problemas de gran tamaño con bajo coste de memoria y la facilidad de tratar el contacto entre cuerpos deformables. Como es bien conocido, el incremento de tiempo utilizado en los algoritmos explícitos depende del tamaño del elemento. Por ello, la utilización de elementos tridimensionales de pequeño tamaño en problemas de choque de vehículos exige incrementos de tiempo pequeños, lo que en ocasiones puede encarecer la solución. La alternativa en estos casos es utilizar elementos de lámina combinados con elementos de sólido en las zonas donde las hipótesis de lámina no sean aplicables.

## 2.7 Pre y postproceso

Los requisitos de pre y postproceso son los típicos de un programa de elementos finitos tridimensional. Como complemento a *SIMPACT*, el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería ha desarrollado un programa denominado "*FLIPP*" (Finite Element Interactive Pre and Postprocessor) para tratamiento de datos y geometría, incluyendo generación de mallas de elementos sólidos hexagonales y tetraédricos, así como un generador de superficies y mallas de elementos de lámina [17].

El programa "*FLIPP*" dispone asimismo de facilidades de visualización gráfica en tres dimensiones y en color como ayuda, tanto para la definición correcta de la malla y datos del problema a analizar, como para facilitar la interpretación de los resultados del



cálculo (deformadas, deformaciones y tensiones). En particular el programa “*FLIPP*” permite visualizar el estado tensional en cada capa de compuestos multicapa, así como el de una sección de la estructura obtenida por intersección de la misma con un plano arbitrario [17].

## 2.8 Posibilidades de vectorización y paralelización

Los problemas de choque de vehículos necesitan utilizar usualmente un gran número de elementos finitos tridimensionales, así como un alto número de soluciones en el tiempo para obtener resultados representativos. Todo ello implica que el coste de tiempo de cálculo de un análisis de choque de vehículos es alto y puede ascender a varias horas de ordenador como se indica en los ejemplos del apartado siguiente.

La solución para reducir drásticamente el tiempo de cálculo es la vectorización y/o paralelización del programa de cálculo. La vectorización es una operación relativamente simple y la mayor parte de los ordenadores vectoriales incluyen una opción de vectorización automática que, si bien no vectoriza totalmente el programa, suele mejorar considerablemente su rendimiento.

La paralelización exige una programación más cuidadosa. No obstante, hoy en día los ordenadores escalares con procesadores paralelos con memoria compartida disponen también de opciones para paralelizar automáticamente las partes más evidentes del programa. No obstante, una paralelización óptima requiere una revisión a fondo del contenido del programa. Puede demostrarse que un 70% de las operaciones de un programa de choque de vehículos por el método de los elementos finitos basando en un algoritmo dinámico explícito son susceptibles de paralelización. Lo mismo ocurre con el método de aproximación bidimensional por capas. Dicho método en combinación con un algoritmo explícito permite una paralelización prácticamente total, si se organiza la solución del sistema de ecuaciones avanzando progresivamente capa por capa.

## 3. EJEMPLOS

### 3.1 Ejemplo 1. Análisis de la deformación de una puerta de coche sometida a ensayo de penetración lateral

Se estudia la deformación de una puerta de automóvil sometida a un ensayo de penetración lateral de un punzón semicilíndrico que impacta sobre la puerta a una velocidad de  $20m/seg$ .

Se ha discretizado la puerta utilizando elementos laminares de 4 nodos y elementos tridimensionales de 8 nodos para el modelado del punzón [6], [14] con las siguientes características:

Etapa 1. Discretización de la puerta: 922 elementos y 971 nodos.

## Etapa 2. Discretización del punzón: 50 elementos y 131 nodos.

Para el material se ha considerado una ecuación constitutiva simplificada basada en un modelo elasto-plástico isotrópico con las características siguientes:

Modulo de elasticidad:  $2,1 \times 10^7 \text{ T/m}^2$   
Coeficiente de Poisson: 0,3  
Modulo de endurecimiento: 0,0  
Tensión de fluencia:  $4,2 \times 10^4 \text{ T/m}^2$   
Densidad:  $0.8 \text{ Ts}^2/\text{m}^2$   
Espesor de los elementos de puerta: 1 mm.  
Espesor del punzón : 5 cm.  
Ordenador: Silicon Graphics Power Challenge.

Las características del análisis en cuanto a tiempos han sido los siguientes:

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| - incremento de tiempo        | .052 microsegundos |
| - tiempo de ciclo             | .98 segundos       |
| - tiempo de ciclo/elemento    | 0.44 milisegundos  |
| - tiempo inicial del análisis | 0.0 segundos       |
| - tiempo final del análisis   | 3 milisegundos     |

Tiempo total de CPU: 4.31 horas

En las Figuras 1 a 3 se muestra una historia de las deformadas de la malla para diferentes tiempos comprendidos entre 0 y 3 milisegundos después del choque y los resultados de rotura producidos por la plastificación en la zona de la cerradura.

### **3.2 Ejemplo 2. Análisis del choque de la carrocería de un prototipo de vehículo industrial.**

El ejemplo analizado es el choque de la carrocería de un prototipo de vehículo industrial contra una pared inclinada 30 grados con respecto al eje central del vehículo. La superficie de la pared se ha supuesto perfectamente deslizante (rozamiento nulo). La velocidad del vehículo en el choque se ha supuesto de 20 m/s (72 km/h).

El análisis se ha efectuado en una primera etapa considerando únicamente el efecto de la caja del vehículo durante el choque. En una segunda etapa se ha considerado el efecto integrado de la caja y las vigas del bastidor del vehículo. Estos últimos resultados son los que se muestran en este trabajo.

Para el análisis se han utilizado una discretización en elementos de láminas de 4 nodos [6],[14] con las mallas siguientes.

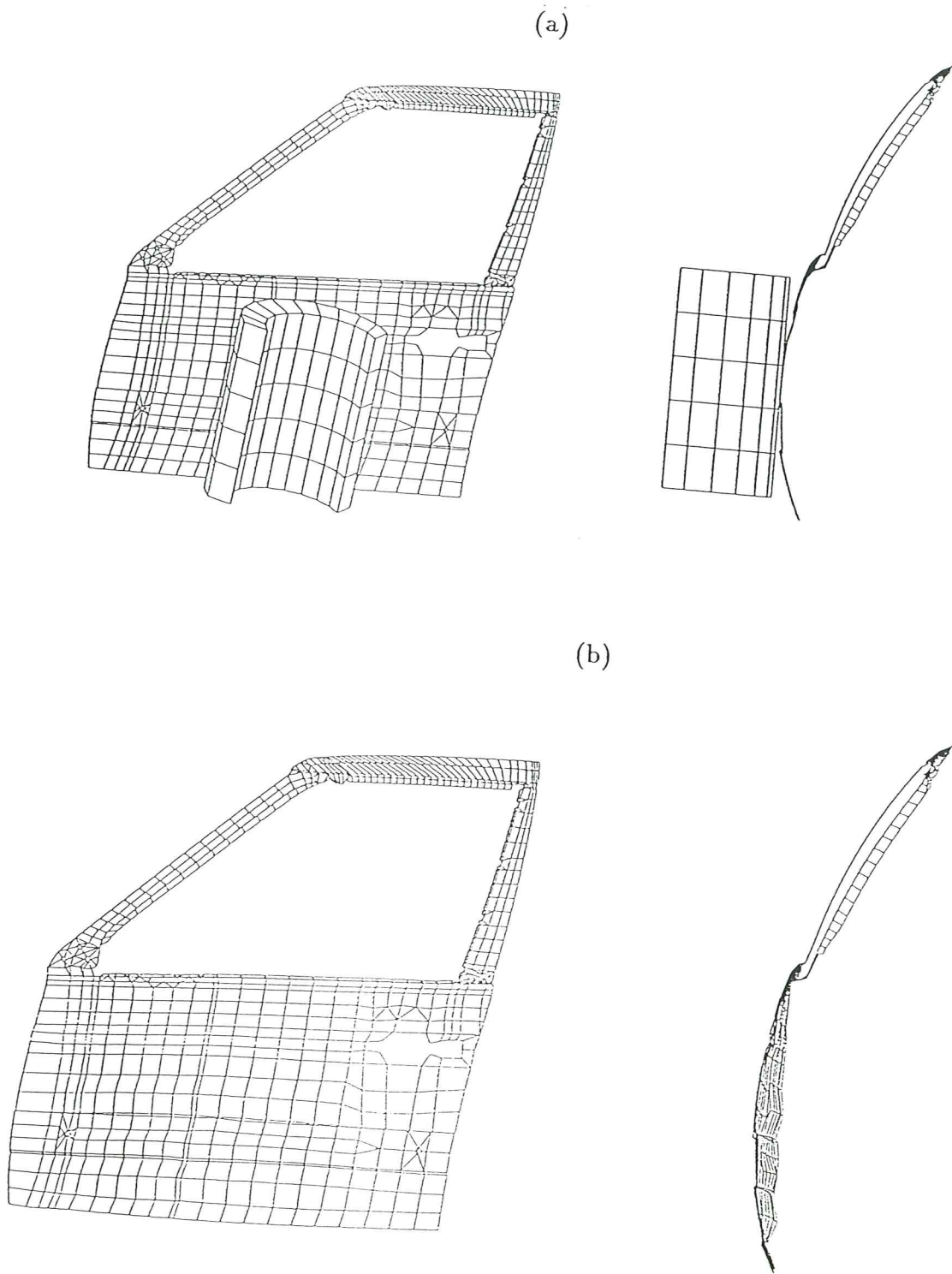


Figura 1. Ejemplo 1. Análisis de la deformación de una puerta de coche sometida a ensayo de choque lateral. a) Malla base; b) Posición de pared rígida; c) Deformada a los 3 milisegundos.

(a)



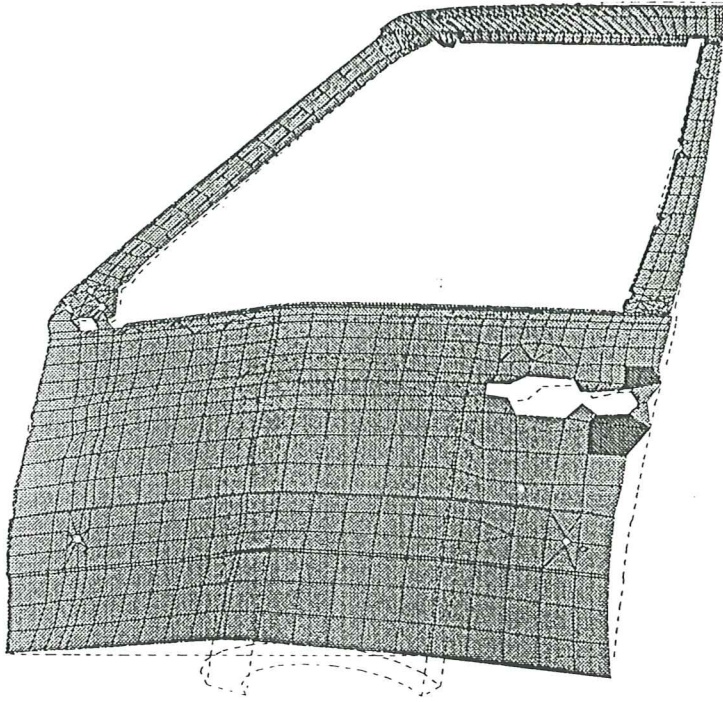
(b)



.066  
.06  
.054  
.048  
.042  
.036  
.03  
.024  
.018  
.012  
.006  
0

Figura 2. Ejemplo 1. Análisis de la deformación de una puerta de coche sometida a ensayo de penetración lateral. a) Isolíneas de igual desplazamiento para  $t=3$  milisegundos, b) Isolíneas de igual deformación plástica

(a)



(b)

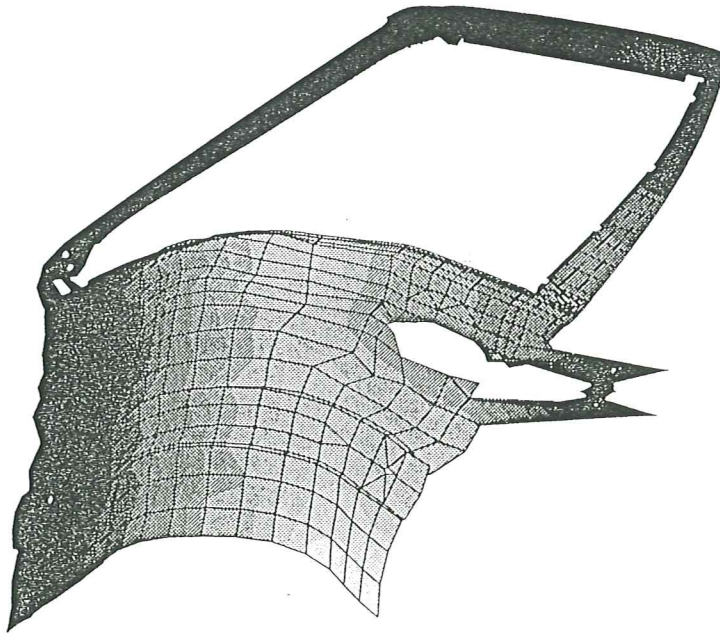


Figura 3. Ejemplo 1. Análisis de la deformación de una puerta de coche sometida a ensayo de penetración lateral. a) Instante inicial de rotura en zona de cerradura, b) Velocidades de la puerta después de la rotura

Para el material se ha considerado una ecuación constitutiva simplificada basada en un modelo elasto-plástico isótropo con las características siguientes:

Modulo de elasticidad:  $2,1 \times 10^7 \text{ T/m}^2$   
Coeficiente de Poisson: 0,3  
Modulo de endurecimiento: 0,0  
Tensión de fluencia:  $4,2 \times 10^4 \text{ T/m}^2$   
Densidad:  $0.8 \text{ Ts}^2/\text{m}^2$   
Espesor de los elementos de caja: 1 mm.  
Espesor de los elementos del bastidor: 5 mm.  
Ordenador: Silicon Graphics Power Challenge.

Las características del análisis en cuanto a tiempos han sido los siguientes:

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| - incremento de tiempo        | 1.36 microsegundos |
| - tiempo de ciclo             | 2.71 segundos      |
| - tiempo de ciclo/elemento    | 0.54 milisegundos  |
| - tiempo inicial del análisis | 0.0 segundos       |
| - tiempo final del análisis   | 0.05 segundos      |

Tiempo total de CPU: 6.32 horas

En las Figuras 4 y 5 se muestran las deformadas de la malla para diferentes tiempos comprendidos entre 0 y 0.1 segundos después del choque. Más información sobre este ejemplo puede encontrarse en las referencias [2] y [11].

### 3.3 Ejemplo 3. Vuelco de una cabina de autobús

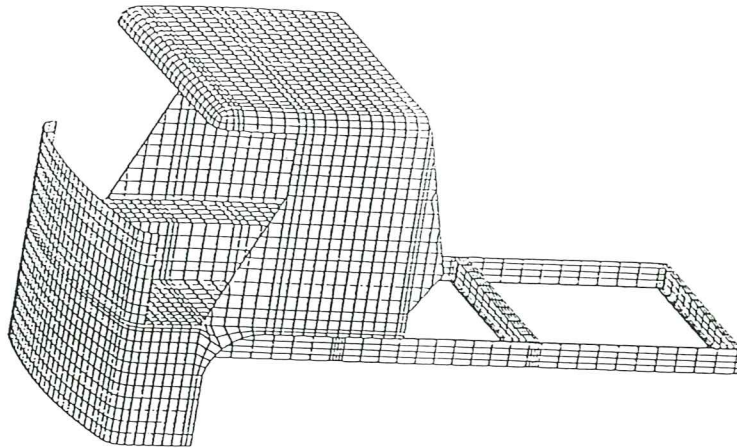
Se ha estudiado el vuelco libre de la cabina de autobús que se muestra en la Figura 6. La cabina está formada por vigas metálicas de sección hueca y pivota alrededor de una línea como puede apreciarse en las figuras que siguen. El conjunto se ha discretizado en un total de 621 elementos de viga y 56 elementos de lámina cuadriláteros de 4 nodos. Se ha supuesto también una masa concentrada en el centro.

En las Figuras 7 y 8 se muestran varias vistas de la deformada de la cabina entre 0.02 y 0.1 segundos después de iniciarse el choque. Más información sobre este ejemplo puede obtenerse en la ref. [15].

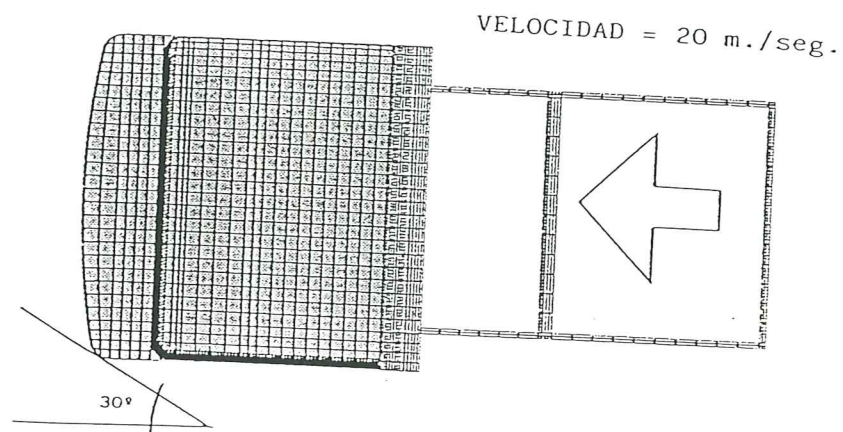
## 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una panorámica del análisis del problemas de choque de vehículos por el método de elementos finitos, así como de las características generales del programa de ordenador "SIMPACT" desarrollado en el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería en Barcelona. Los ejemplos presentados son un claro exponente de las posibilidades de dicho programa para la simulación por ordenador de problemas reales de choque de vehículos.

(a)



(b)



(c)

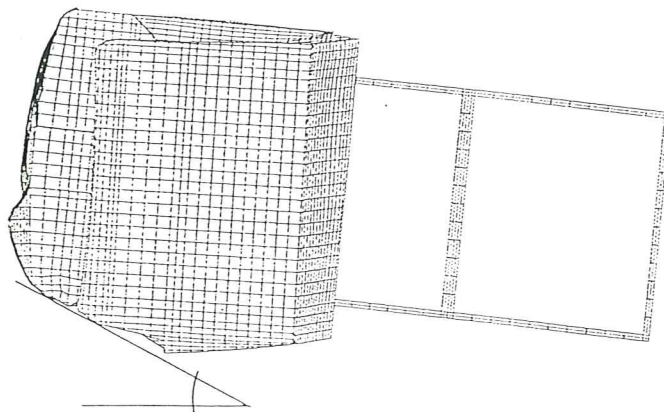


Figura 4. Ejemplo 2. Análisis del choque de la carrocería de un prototipo de vehículo industrial con bastidor. a) Malla de elementos finitos; b) Posición de la pared rígida; c) Deformada a los 0.05 segundos con un desplazamiento máximo de 100cm.

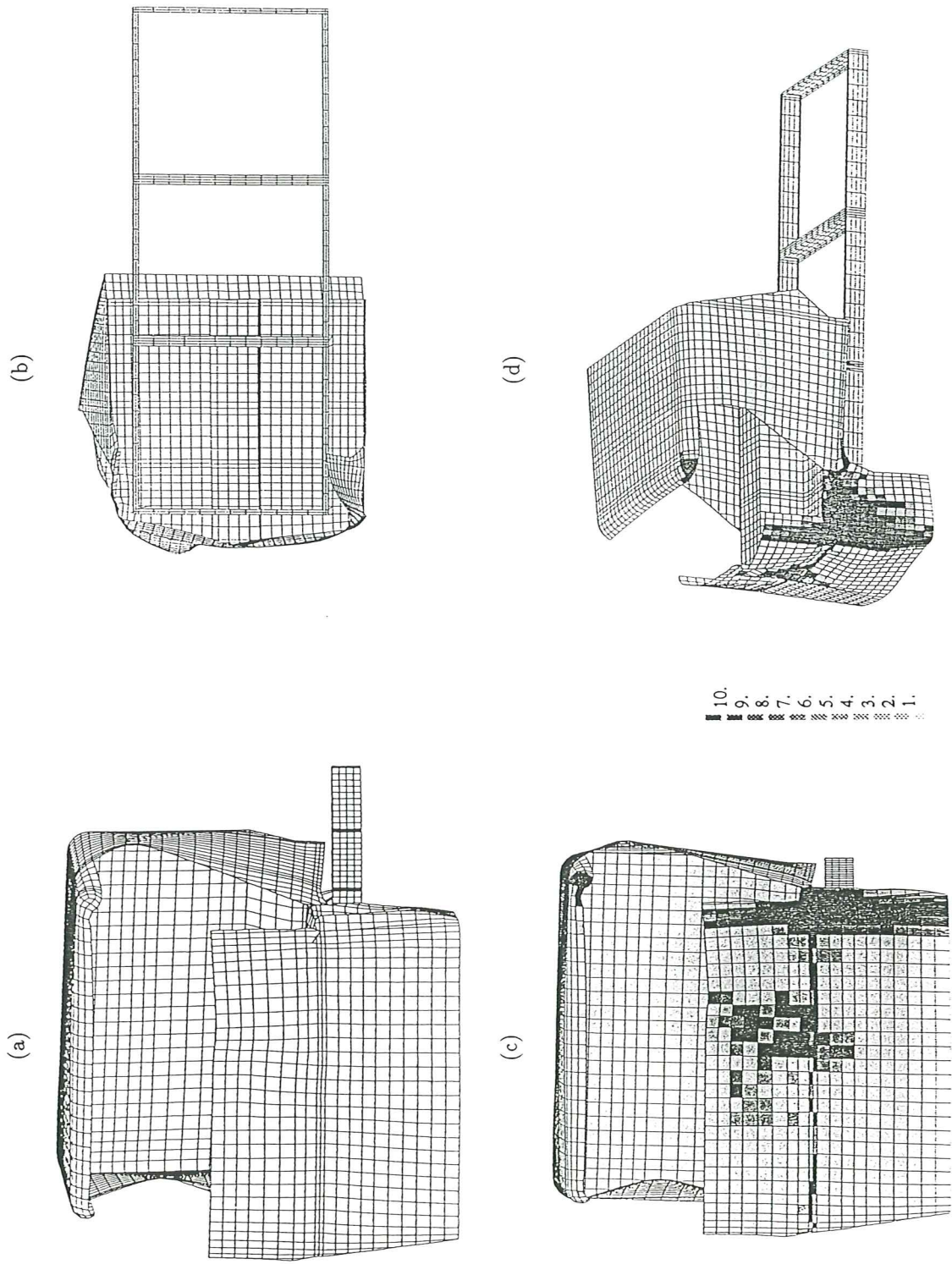


Figura 5. Ejemplo 2. Análisis del choque de la carrocería de un prototipo de vehículo industrial con bastidor. a) Diferentes vistas para a)  $t=0.050$  seg. y despl. max. de 100 cm., b) Gráficos de isolíneas de deformación plástica.



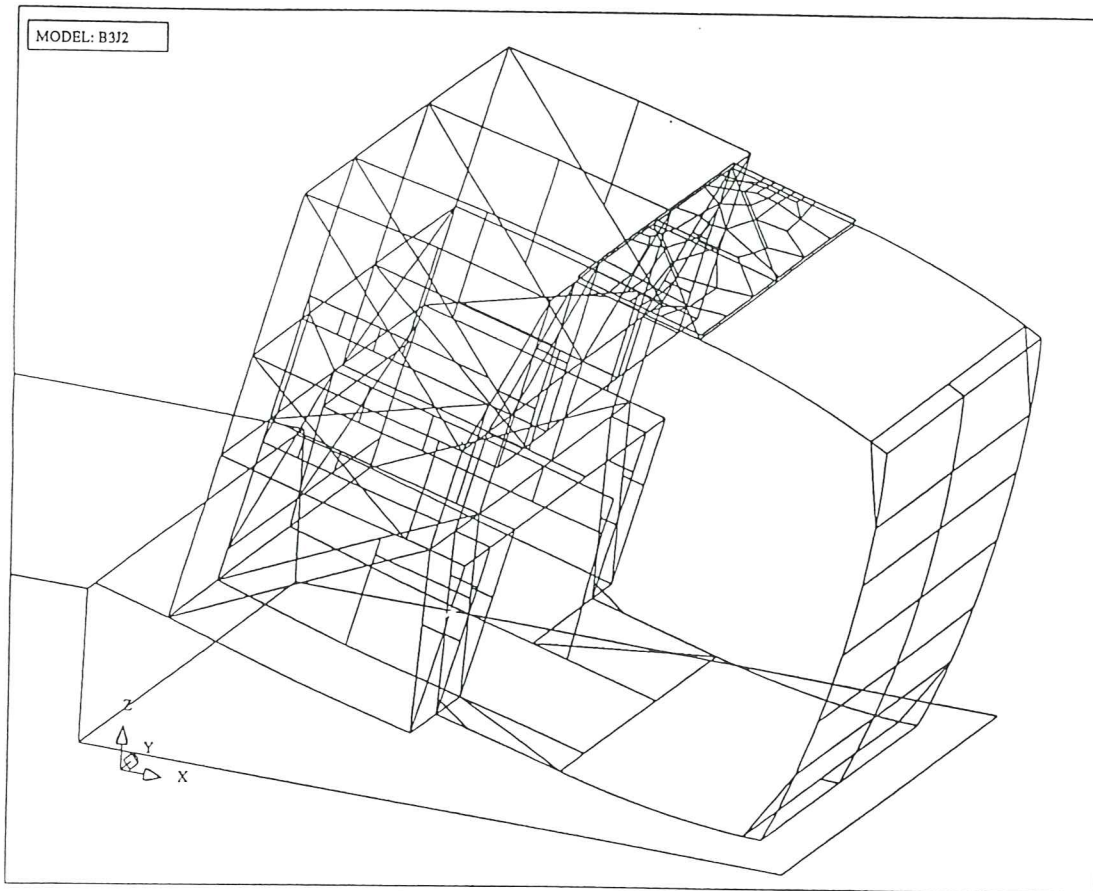


Figura 6. Vuelco de una cabina de autobús. Geometría inicial.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de IDIADA en la definición del ejemplo número 3.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Zienkiewicz O.C. y Taylor, R.L., "The finite element method", 4th Edition, MacGraw Hill, Vol. I y Vol. II (1989).
- [2] Oñate, E., Oller, S., Botello, S. y Miquel, J., "Métodos avanzados de cálculo de estructuras de vehículos con materiales compuestos", Publicación Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, No 11, Enero (1991).
- [3] ABAQUS, version 4.8, Users Manual, Hibbit, Karlsson and Sorensen INC., 1989
- [4] ADINA versión 5.0 Users Manual. Adina R & D, Massachusetts, USA, Noviembre (1989)

- [5] De Salvo G.J. y Gorman R.N., ANSYS Users Manual Revision 4.4, Swanson Analysis Systems Inc., (1989)
- [6] Hallquist J.O., "Theoretical Manual for DYNA3D". *Methods Development Group, Mechanical Engng. Dept., Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California, USA, (1986)*
- [7] Belingardi G., Goglio L. and Zampieri M., "Sheet Metal forming simulation by shell elements. in *Computational Plasticity*, R. Owen, F. Hinton y E. Oñate (Eds.), Pineridge Press, (1989)
- [8] MSC/DYNA, Users Manual, Demonstration Manual and Theoretical Manual. The McNeal-Schwendler Corporation, Los Angeles, (1989)
- [9] Haug et al., "Industrial crash simulations using the PAM-CRASH code". *Conf. Supercomputing in Engineering Structures*, IBM Europe Institutes 1988, Uberlech, Austria, July 11-15, (1988)
- [10] Marechal E., "Conception et dimensionnement des structures en materiaux composites pour SAMCEF". Rapport 017, Samtech, Lieja, (1989)
- [11] Miquel, J., Oñate, E., Rojek, J., "Simulación del Choque de Vehículos por el Metodo de los Elementos Finitos - "SIMPACT"". *Monografía CIMNE*, Barcelona
- [12] Hughes T.J.R. y Liu W.K., "Implicit-Explicit Finite Elements in Transient Analysis. Stability Theory". *J. Appl. Mech.*, 45, 371-74, (1978)
- [13] Irons B.M. y Treharne G., "A bound theorem in eigenvalues and its practical applications. Proc. 3d Conf. Matrix Meth. Struct. Mech., Wright Patterson, 245-54, (1971)
- [14] Belytschko, T., Tsay, C.S. y Liu. W.K., "A stabilization matrix for the bi-linear Midlin plate element" *Comp Methods Appl. Mech. Eng.*, Vol. 29, pp. 313-327 (1981).
- [15] Miquel, J., Oñate, E. García, C., Botello, S., Flores, F. y Rojek, J., "Análisis de problemas de choque e impacto entre sólidos deformables por el método de elementos finitos. Proyecto SIMPACT", Monografía 25, CIMNE, Barcelona, Nov. 1994.
- [16] Manual de utilización de SIMPACT. CIMNE, Barcelona, 1995.
- [17] Ribó, R., Descripción de FLIPP, "Finite Element Interactive Pre and Postprocessor", CIMNE, Barcelona, 1995.
- [18] Rojek, J., Miquel, J. y Oñate, E., "Descripción del modelo de contacto y rozamiento en el programa SIMPACT", Informe Técnico CIMNE, Barcelona, 1995.

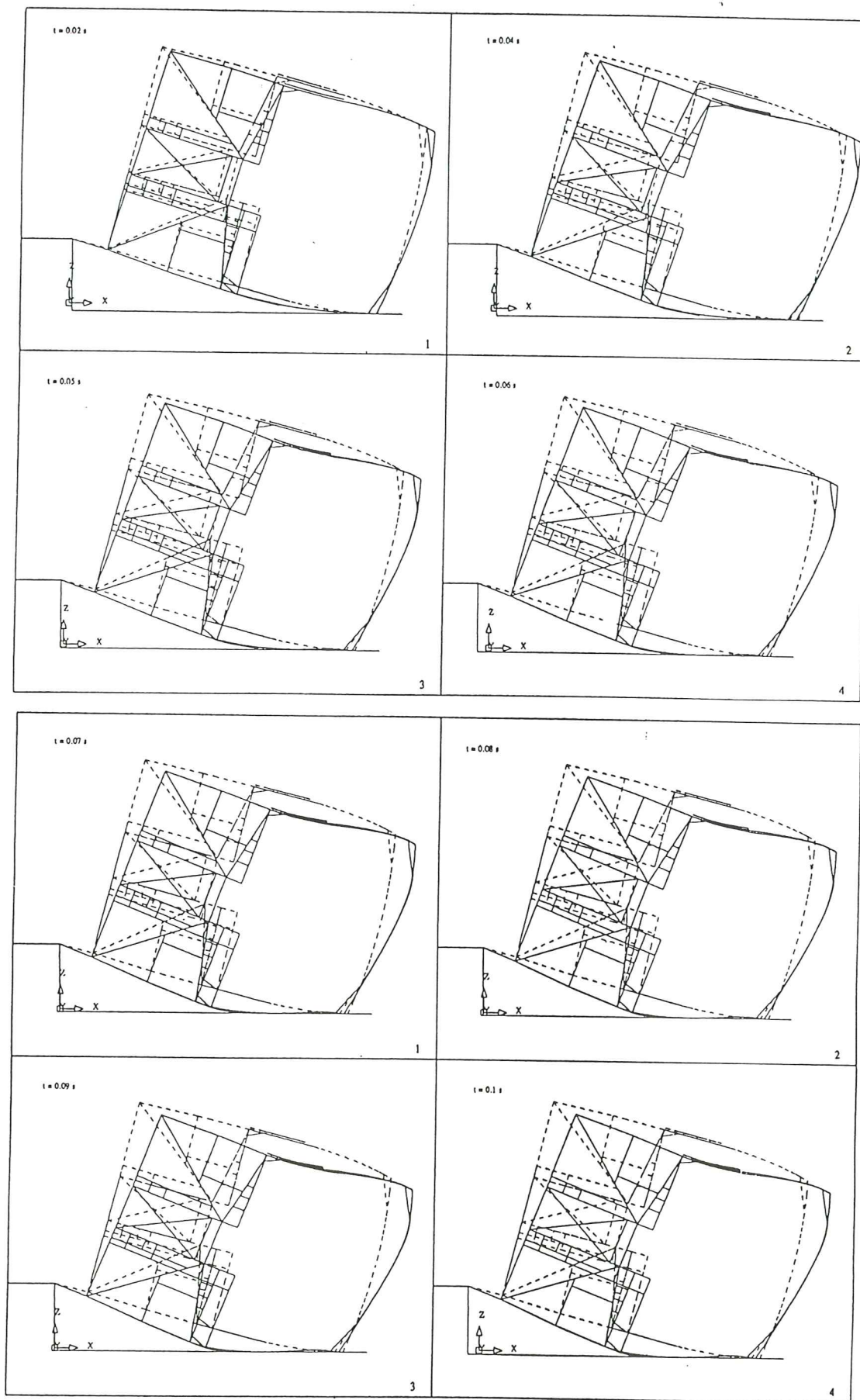


Figura 7. Vuelco de un autobús: deformada durante el impacto.

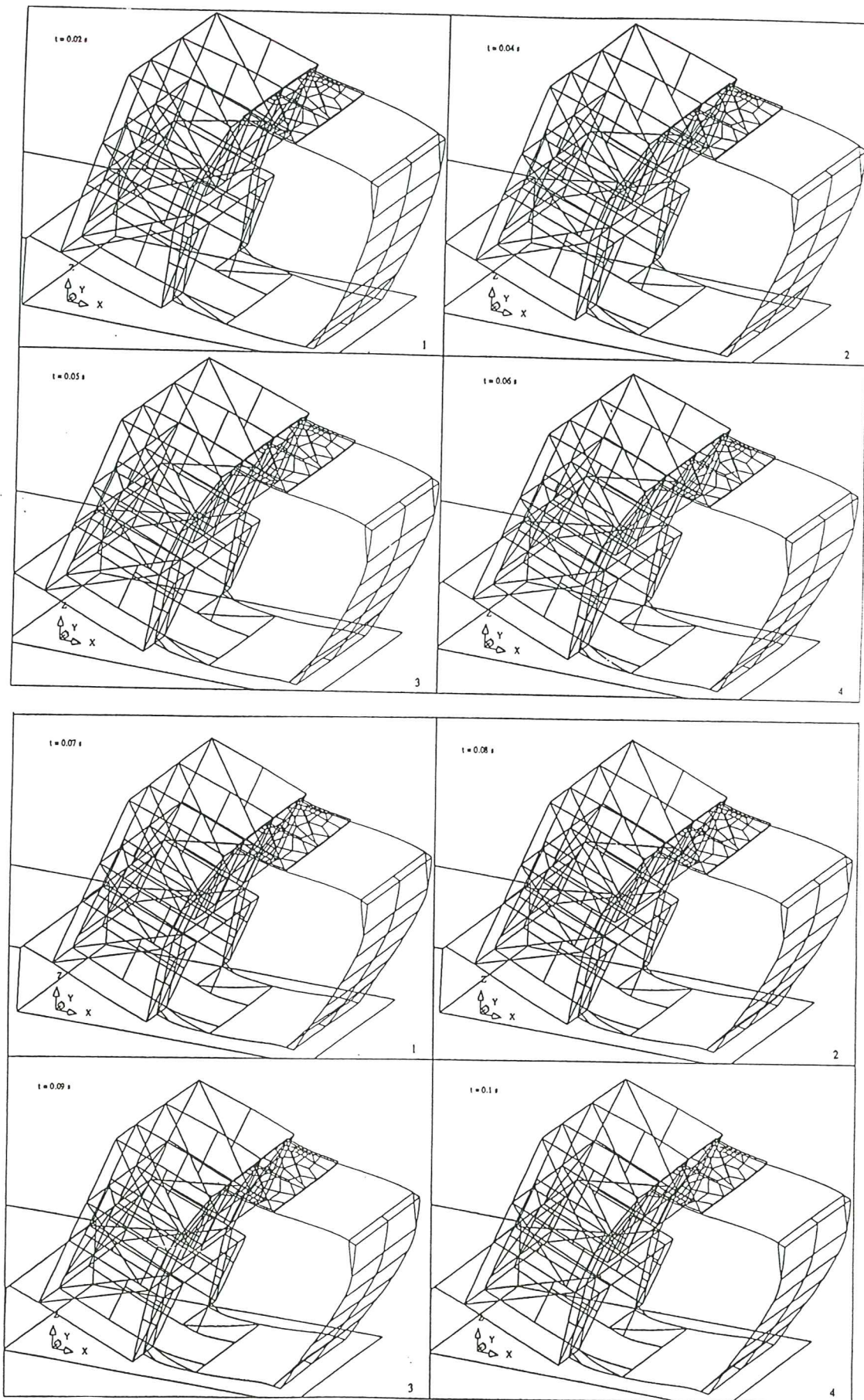


Figura 8. Vuelco de un autobús: deformada durante el impacto.