

**Máster en Sistemas Mecánicos**

**Posgrado en Ingeniería Mecánica y de Materiales**

---



Trabajo Fin de Máster

---

# Absorbedor de Impactos Estudio Comparativo

Santiago Tornos Tejedor

*Dirigido por Jesús Cuartero Salafranca*  
Septiembre 2010





# Absorbedor de Impactos – Estudio Comparativo

---

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objeto el estudio comparativo teórico de un absorbedor de impactos en acero y duraluminio en diferentes configuraciones, bajo simulación informática mediante el software de elementos finitos *Patran*, y *Abaqus*, en su módulo *explicit*.

A partir de un absorbedor de impactos de referencia (un cilindro hueco), se han planteado una serie de mejoras del mismo en su configuración, todas ellas en acero y duraluminio;

- Cilindro principal con dos cilindros auxiliares concéntricos con disminución progresiva de diámetro.
- Cilindro principal con cinco cilindros auxiliares interiores no concéntricos, con el mismo diámetro.
- Cilindro principal con cinco cilindros auxiliares no concéntricos más un sexto cilindro auxiliar concéntrico con el principal, interiores, teniendo todos los cilindros auxiliares el mismo diámetro.
- Cilindro principal con recubrimiento auxiliar helicoidal simple.
- Cilindro principal con recubrimiento auxiliar helicoidal doble.

Todas las configuraciones, independientemente de sus geometrías, elementos auxiliares, y material utilizado, presentan el mismo peso.

Para comprobar las posibles mejoras de la configuración, se procederá a realizar un estudio comparativo de la energía cinética absorbida por los mismos tras impacto con un cuerpo rígido.



<i>1. Geometría y Mallado en Patran</i>	<i>5</i>
<i>1.1. Geometría 1 (Absorbedor de Referencia)</i>	<i>5</i>
<i>1.2. Geometría 2</i>	<i>6</i>
<i>1.3. Geometría 3</i>	<i>7</i>
<i>1.4. Geometría 4</i>	<i>8</i>
<i>1.5. Geometría 5</i>	<i>9</i>
<i>1.6. Geometría 6</i>	<i>10</i>
<i>2. Condiciones de Contorno y Cargas</i>	<i>11</i>
<i>3. Resultados en Abaqus</i>	<i>12</i>
<i>4. Conclusiones</i>	<i>15</i>



## 1. Geometría y Mallado en Patran

Para una mejor explicación de las geometrías utilizadas y su construcción, consultar el apartado **1. Geometría** del documento adjunto 2/2 – *Anexos*.

Para una mejor explicación de los espesores utilizados para mantener siempre el mismo peso de material en todas las configuraciones, consultar el apartado **2. Cálculos justificativos de espesores** del documento adjunto 2/2 – *Anexos*.

### 1.1. Geometría 1 (Absorbedor de referencia)

Cilindro hueco (Figuras 1.1.1. y 1.1.2.);

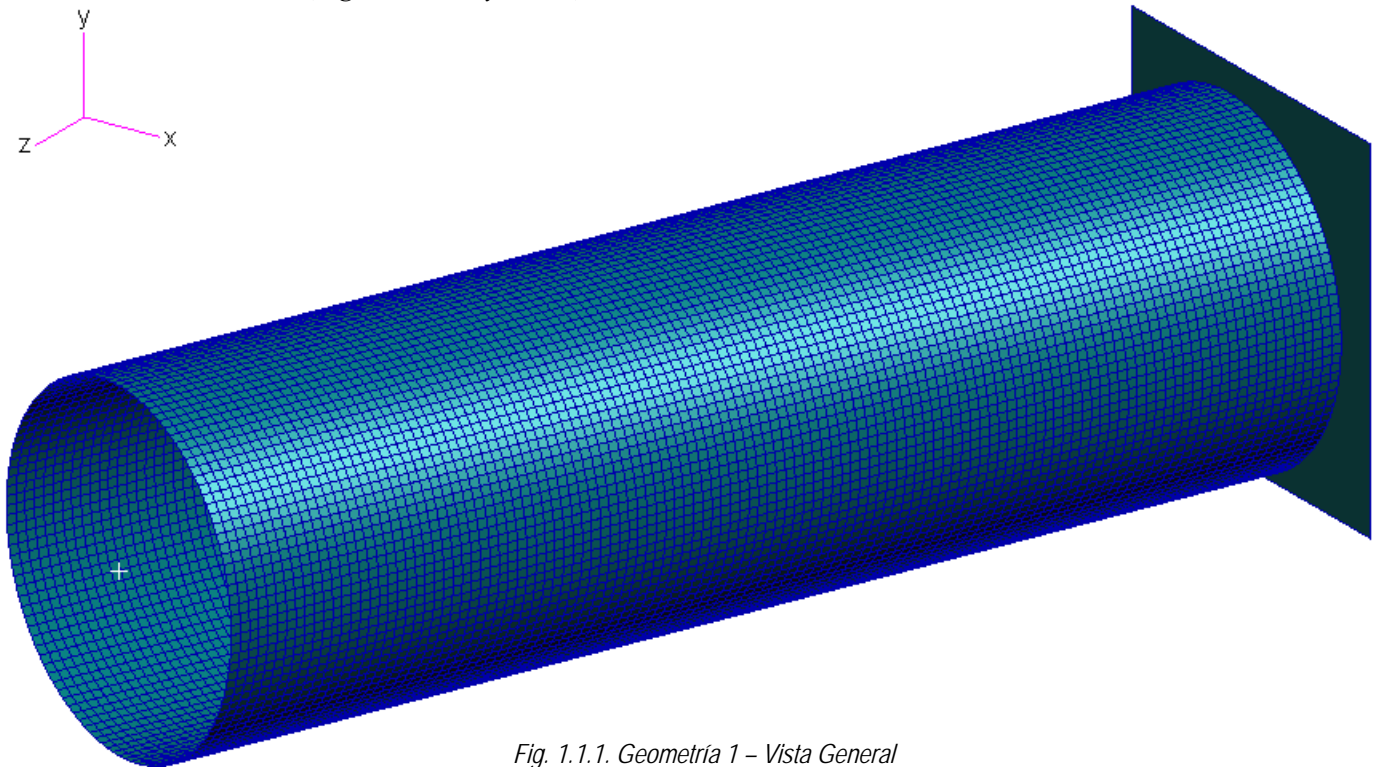
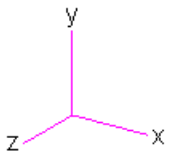


Fig. 1.1.1. Geometría 1 – Vista General

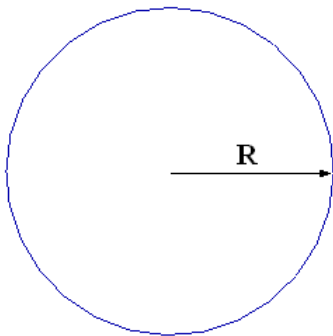


Fig. 1.1.2. Geometría 1 – Vista Frontal

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$R = 0,075 \text{ m}$$

$$e_{ACERO} = 0,0025 \text{ m}$$

$$e_{DURALUMINIO} = 0,00418 \text{ m}$$

Número de elementos: 14401

Número de Nodos: 14524

## 1.2. Geometría 2

Cilindro hueco con dos cilindros auxiliares concéntricos con disminución progresiva de diámetro. Todos los cilindros tienen el mismo diámetro (Figuras 1.2.1. y 1.2.2.);

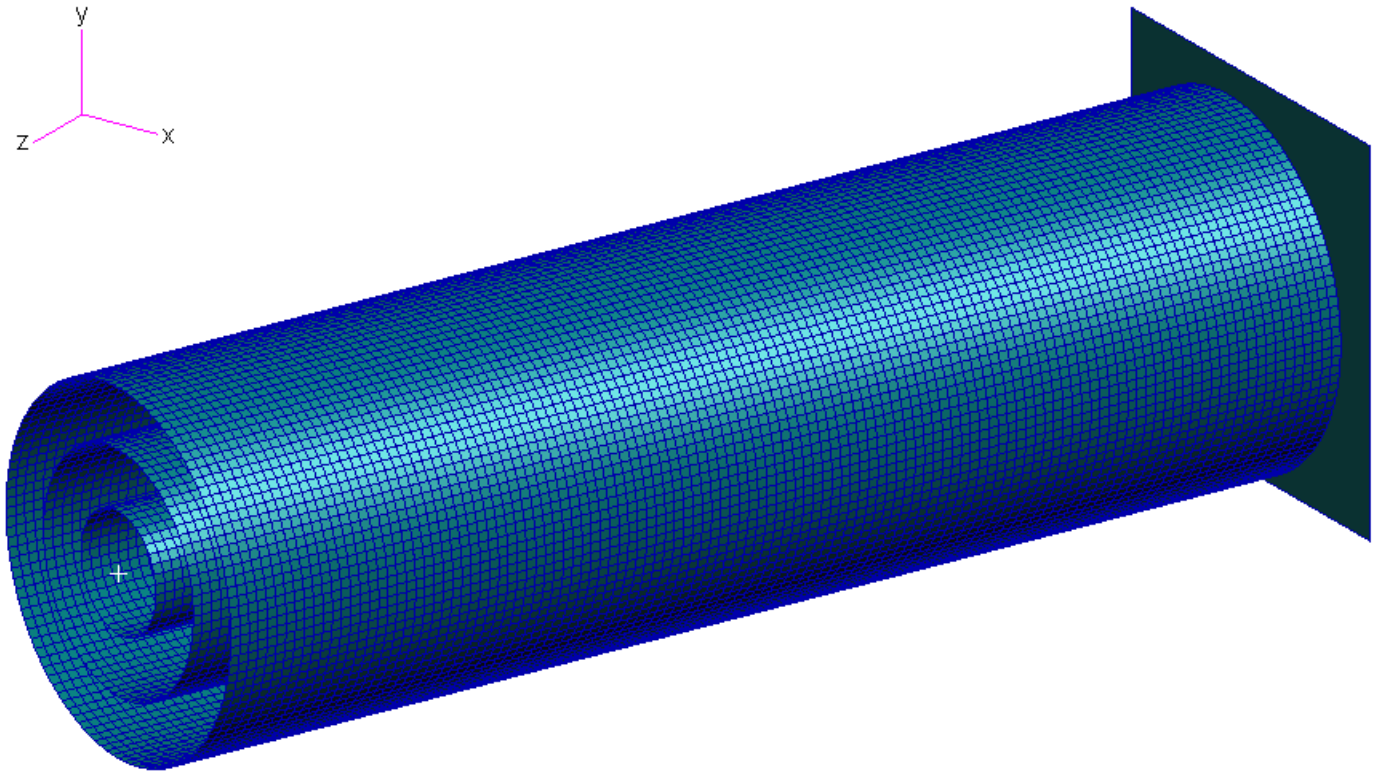


Fig. 1.2.1. Geometría 2 – Vista General

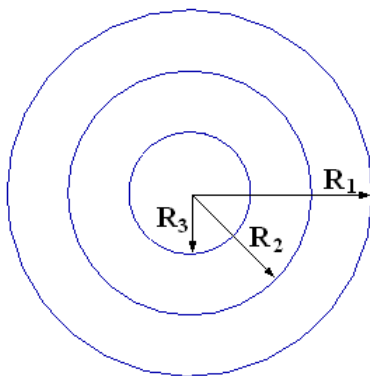


Fig. 1.2.2. Geometría 2 – Vista Frontal

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$R_1 = 0,075 \text{ m} \quad R_2 = 0,05 \text{ m} \quad R_3 = 0,025 \text{ m}$$

$$e_{ACERO} = 0,00144 \text{ m}$$

$$e_{DURALUMINIO} = 0,002417 \text{ m}$$

Número de elementos: 28801

Número de Nodos: 29044



### 1.3. Geometría 3

Cilindro hueco con cinco cilindros auxiliares interiores no concéntricos, teniendo todos los cilindros auxiliares el mismo diámetro (Figuras 1.3.1. y 1.3.2.);

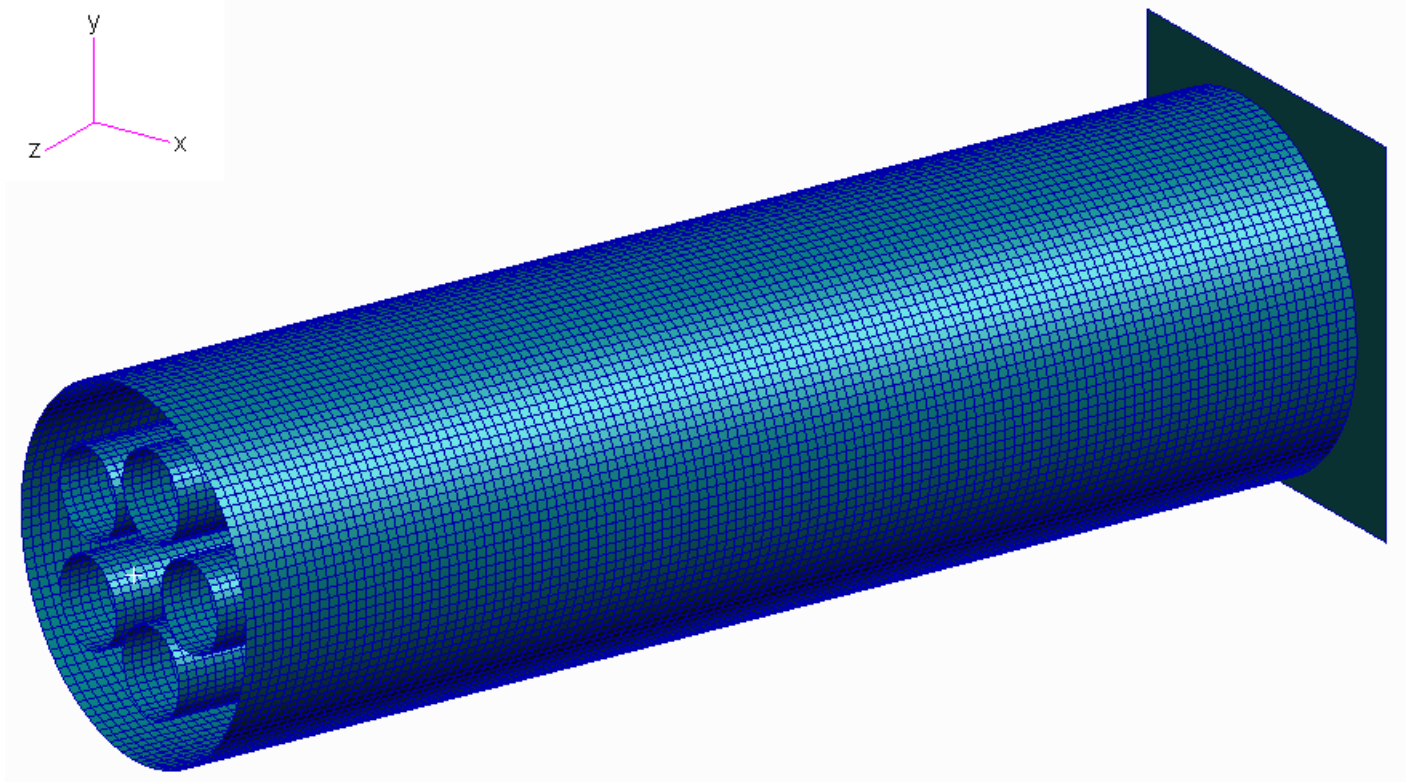


Fig. 1.3.1. Geometría 3 – Vista General

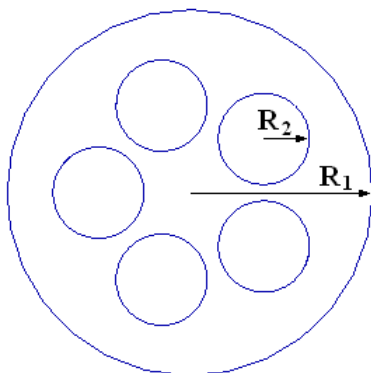


Fig. 1.3.2. Geometría 3 – Vista Frontal

$$\begin{aligned} L &= 0,5 \text{ m} \\ R_1 &= 0,075 \text{ m} \quad R_2 = 0,01875 \text{ m} \\ \text{Distancia} &= 0,0375 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{ACERO}} &= 0,001 \text{ m} \\ e_{\text{DURALUMINIO}} &= 0,001709 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Número de elementos:} & 38401 \\ \text{Número de Nodos:} & 38724 \end{aligned}$$

## 1.4. Geometría 4

Cilindro hueco con cinco cilindros auxiliares no concéntricos más un sexto cilindro auxiliar concéntrico con el principal, interiores, teniendo todos los cilindros auxiliares el mismo diámetro (Figuras 1.4.1. y 1.4.2.);

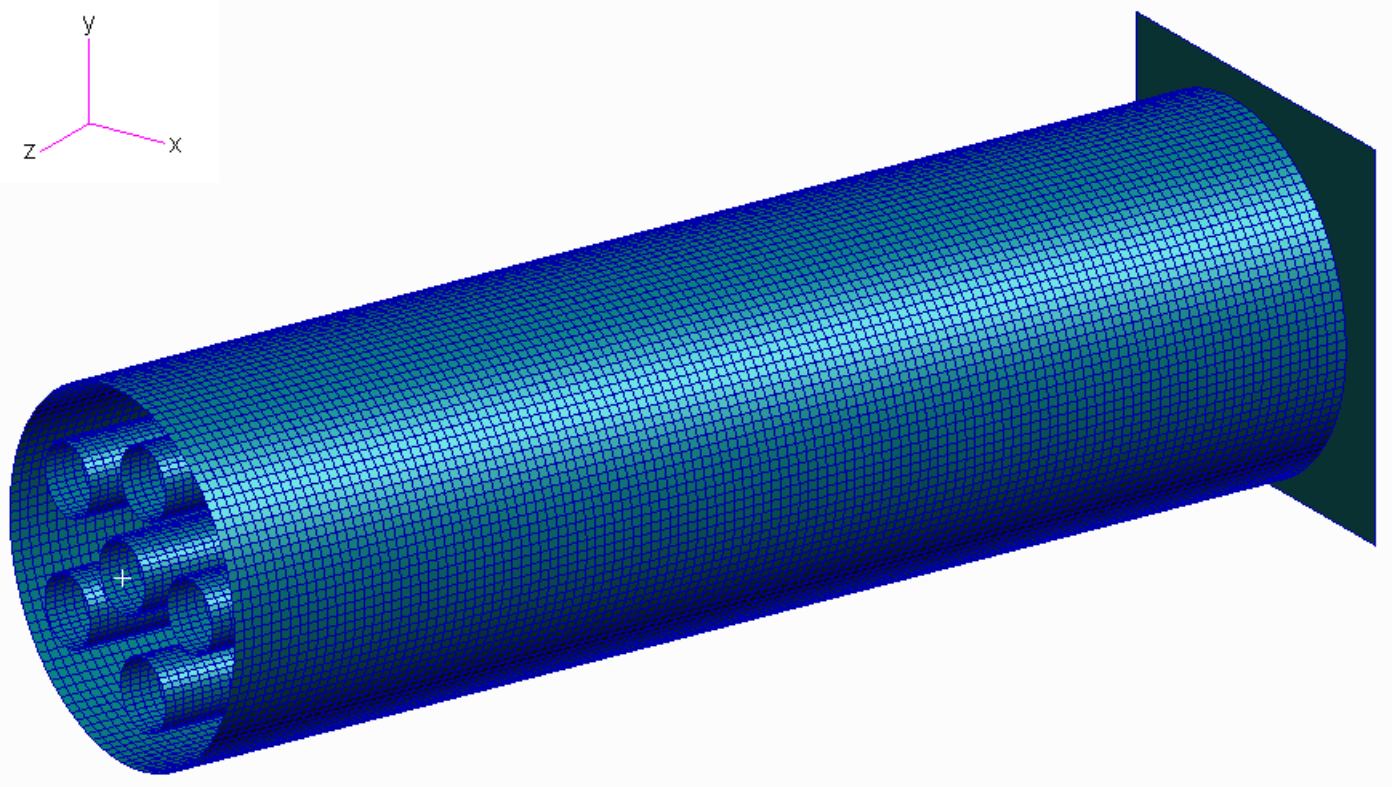


Fig. 1.4.1. Geometría 4 – Vista General

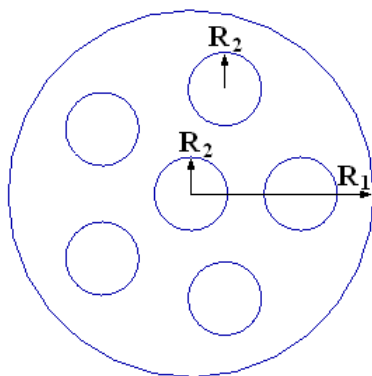


Fig. 1.4.2. Geometría 4 – Vista Frontal

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$R_1 = 0,075 \text{ m} \quad R_2 = 0,015 \text{ m}$$

$$\text{Distancia} = 0,045 \text{ m}$$

$$e_{ACERO} = 0,000944 \text{ m}$$

$$e_{DURALUMINIO} = 0,00158 \text{ m}$$

$$\text{Número de elementos: } 43201$$

$$\text{Número de Nodos: } 43564$$

## 1.5. Geometría 5

Cilindro principal con recubrimiento auxiliar helicoidal simple (Figuras 1.5.1. y 1.5.2.);

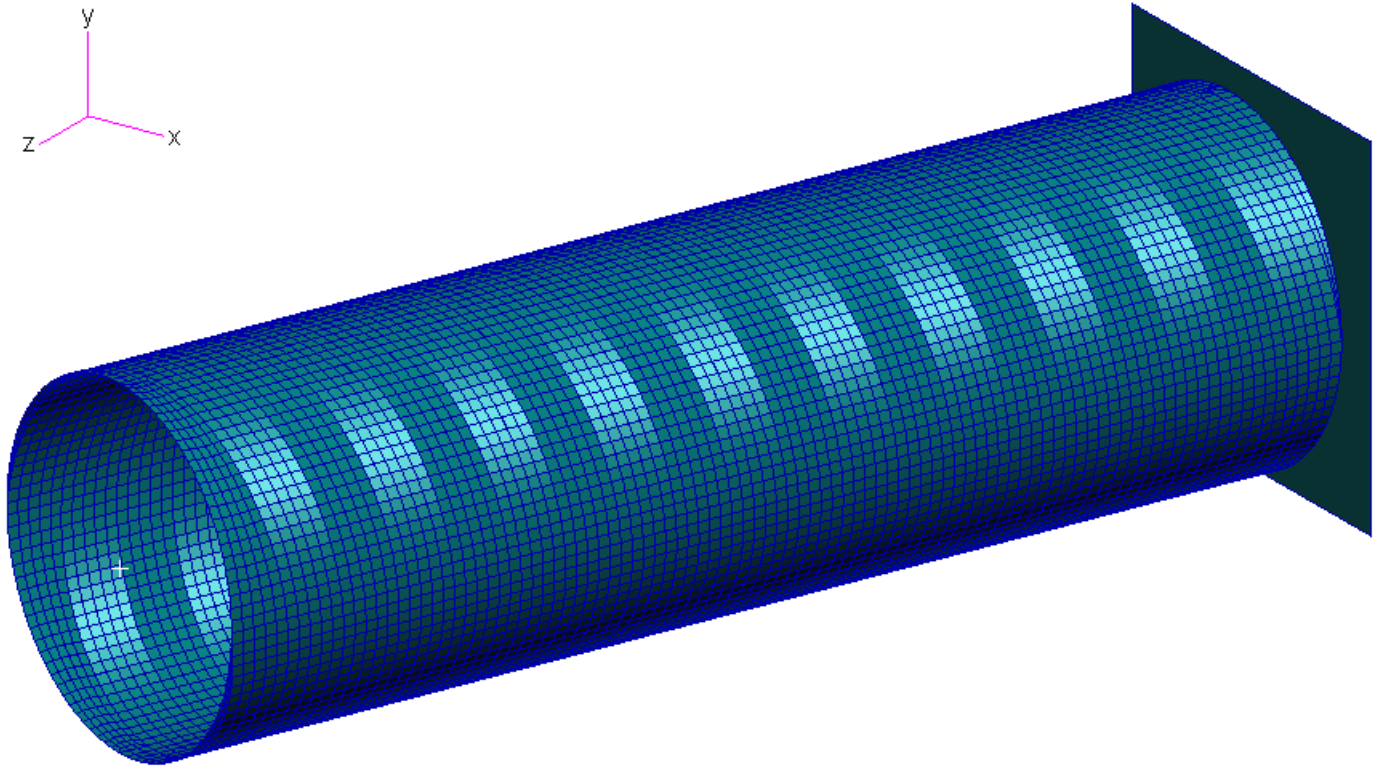


Fig. 1.5.1. Geometría 5 – Vista General

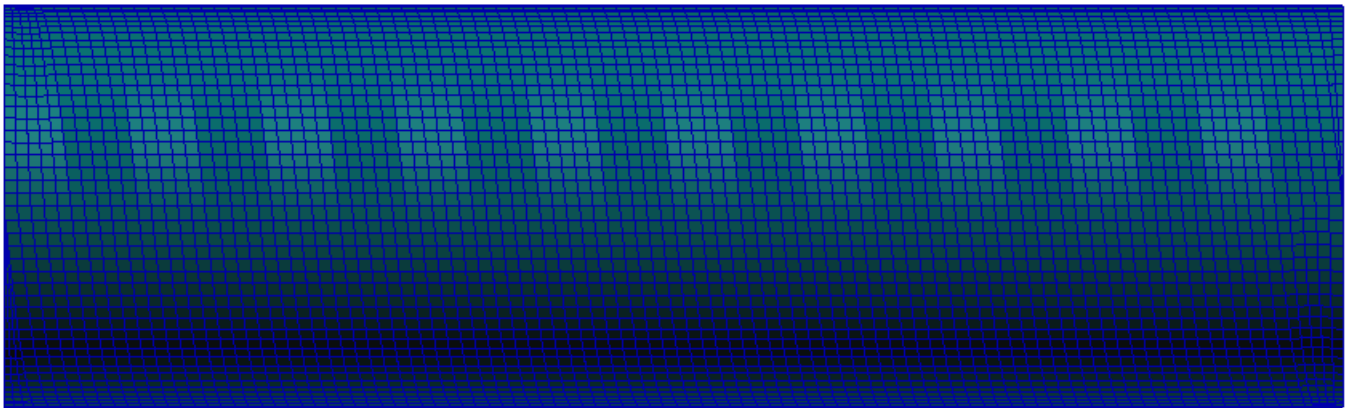


Fig. 1.5.2. Geometría 5 – Vista Lateral

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$R = 0,075 \text{ m}$$

$$\alpha_{\text{HELICE}} = 6^\circ$$

$$e_{\text{HELICE ACERO}} = 0,00333 \text{ m}$$

$$e_{\text{HELICE DURALUMINIO}} = 0,00934 \text{ m}$$

$$e_{\text{CILINDRO ACERO}} = 0,00166 \text{ m}$$

$$e_{\text{CILINDRO DURALUMINIO}} = 0,004657 \text{ m}$$

Número de elementos: 9847

Número de Nodos: 9944

## 1.6. Geometría 6

Cilindro principal con recubrimiento auxiliar helicoidal doble (Figuras 1.6.1 y 1.6.2);

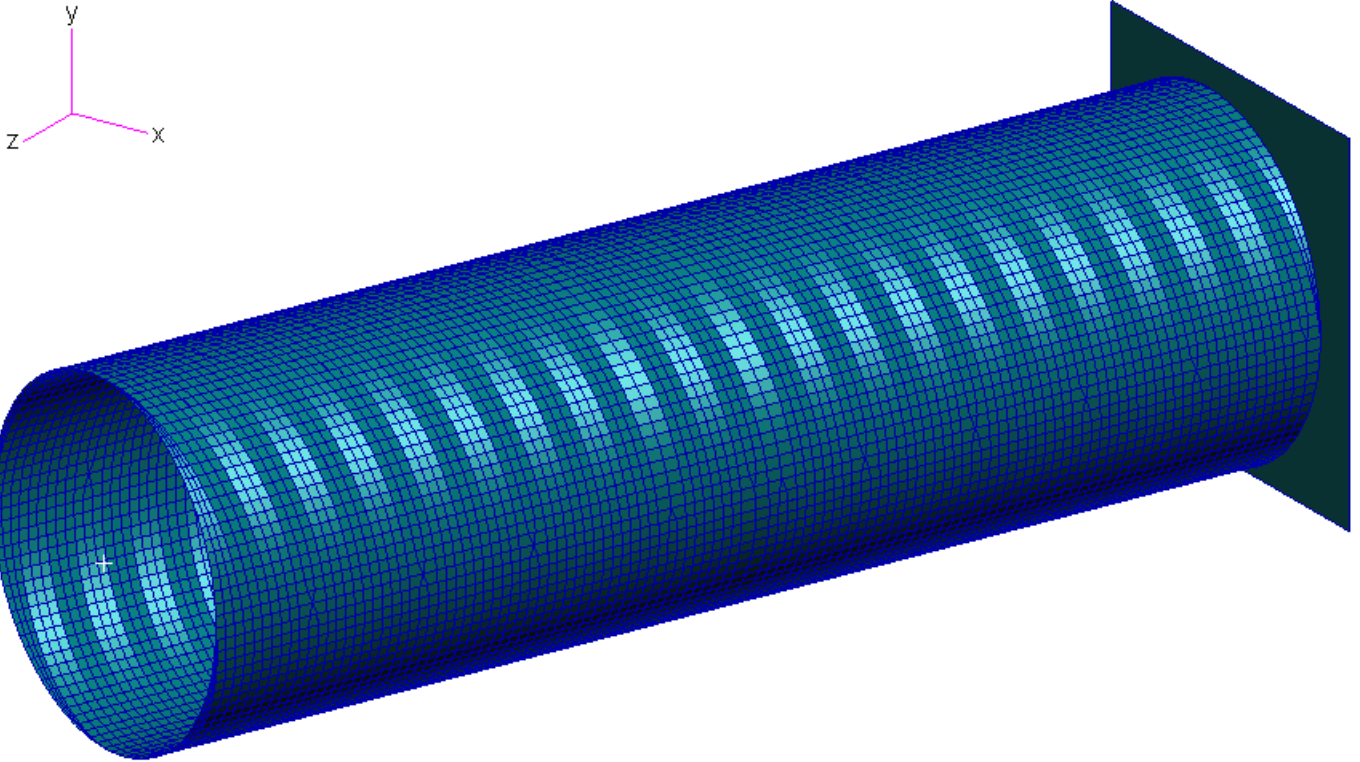


Fig. 1.6.1. Geometría 6 – Vista General

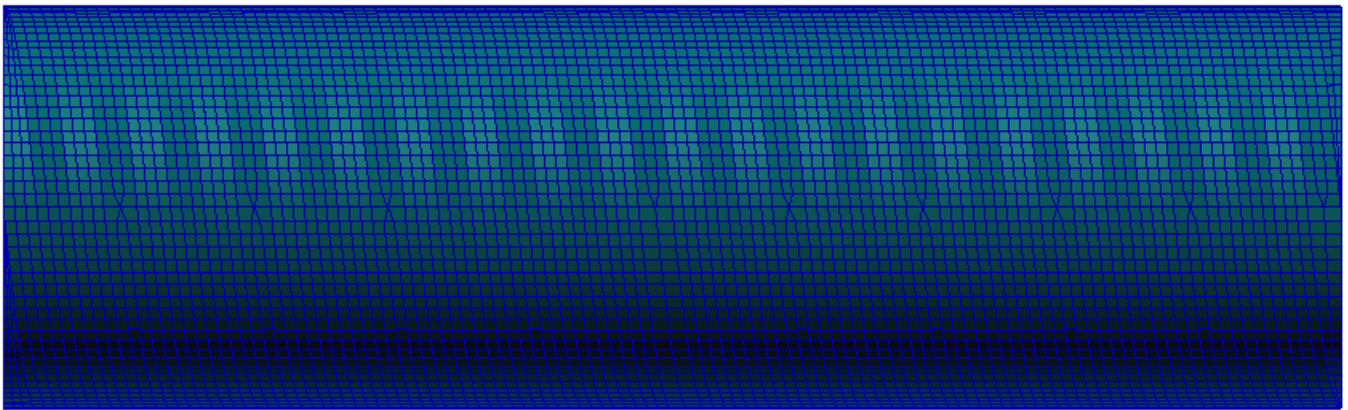


Fig. 1.6.2. Geometría 6 – Vista Lateral

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$R = 0,075 \text{ m}$$

$$\alpha_{\text{HELICE}} = 6^\circ$$

$$e_{\text{HELICE ACERO}} = 0,00333 \text{ m}$$

$$e_{\text{HELICE DURALUMINIO}} = 0,00934 \text{ m}$$

$$e_{\text{CILINDRO ACERO}} = 0,00166 \text{ m}$$

$$e_{\text{CILINDRO DURALUMINIO}} = 0,004657 \text{ m}$$

Número de elementos: 9847

Número de Nodos: 9944



## 2. Condiciones de Contorno y Cargas

- Los nodos de la base de todas las configuraciones de absorbedor están restringidos en todos los grados de libertad, simulando así un empotramiento perfecto.
- La placa que impacta se sitúa a 0,01 m del absorbedor.
- La placa que impacta presenta una rigidez y densidad muy elevadas en comparación con el resto de los materiales, simulando así un cuerpo rígido.
- Los nodos de la placa que impacta están restringidos en todos los grados de libertad, excepto en la dirección Z, evitando así cualquier posible desplazamiento lateral.
- Los nodos de la placa que impacta presentan una velocidad inicial de -166,66 m/s (60 km/h) en la dirección Z, simulando así el test de impacto estándar *EuroNCAP* para turismos.
- La energía cinética total a absorber es de 71105,422 J.

Para los datos referentes a los materiales empleados y energía de la placa, consultar el apartado **3. Materiales** del documento adjunto **2/2 – Anexos**

Una representación visual, genérica para todos los absorbedores, de las condiciones de contorno y cargas se muestra en la *Figura 2.1*.

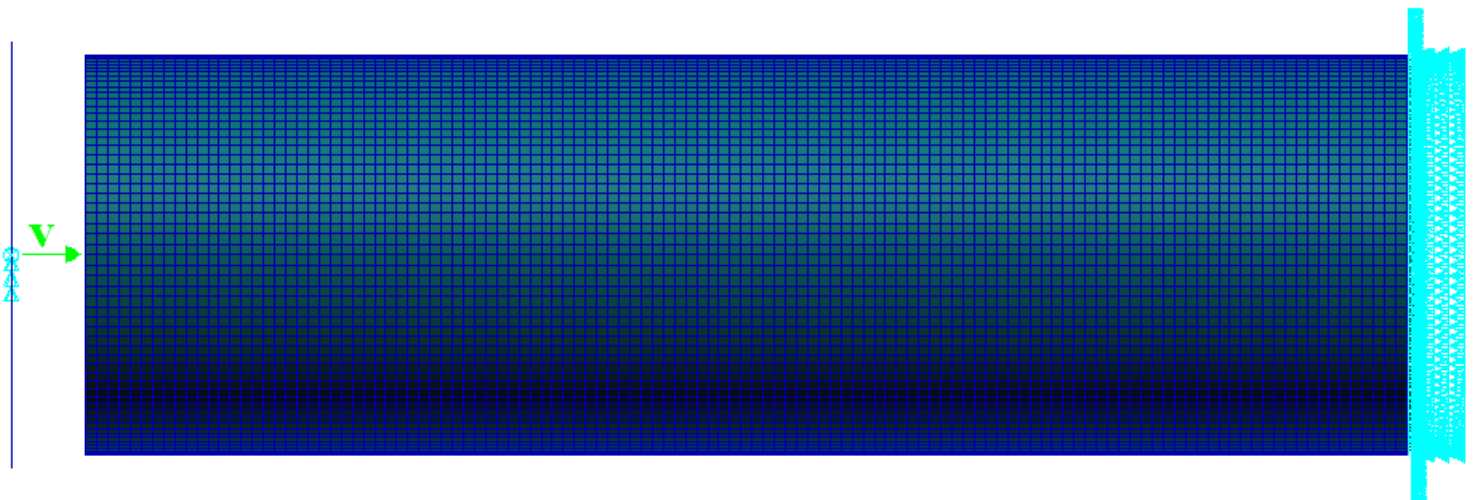


Fig. 2.1. Condiciones de Contorno y Cargas

### 3. Resultados en Abaqus

Las imágenes más relevantes, comentadas, y todas las gráficas, para todas las configuraciones y materiales, pueden ser consultadas en el apartado **4. Resultados Completos en Abaqus** del documento adjunto 2/2 – *Anexos*.

- Configuraciones objeto de estudio, tras impacto, en los materiales propuestos (Acero y Duraluminio). (*Figuras 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 3.5., 3.6., 3.7., 3.8., 3.9, 3.10. 3.11. y 3.12.*);

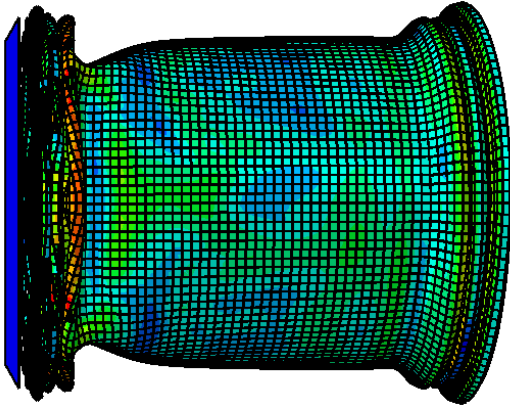


Fig. 3.1. Geometría 1 – ACERO –  $t=0,0055\text{ s}$

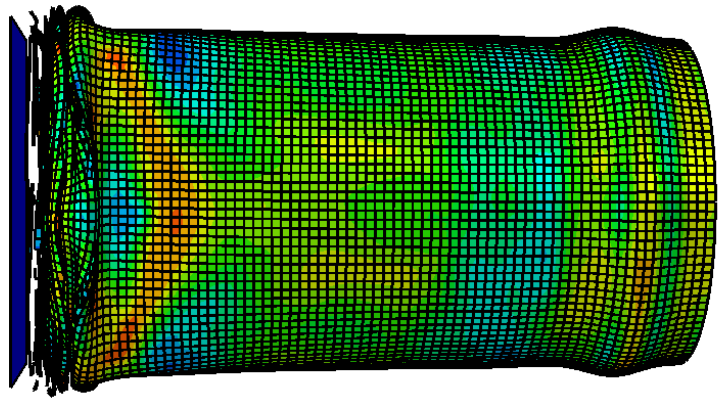


Fig. 3.2. Geometría 1 – DURALUMINIO –  $t=0,004\text{ s}$

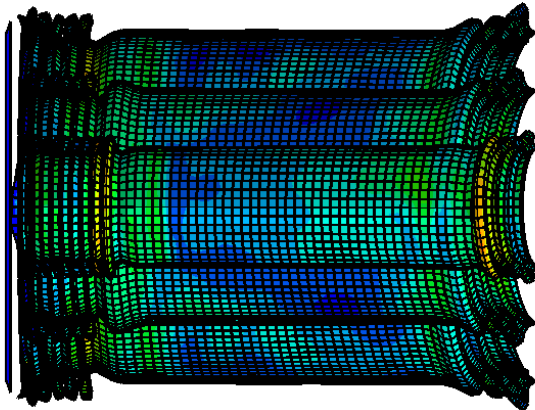


Fig. 3.3. Geometría 2 – ACERO –  $t=0,0055\text{ s}$

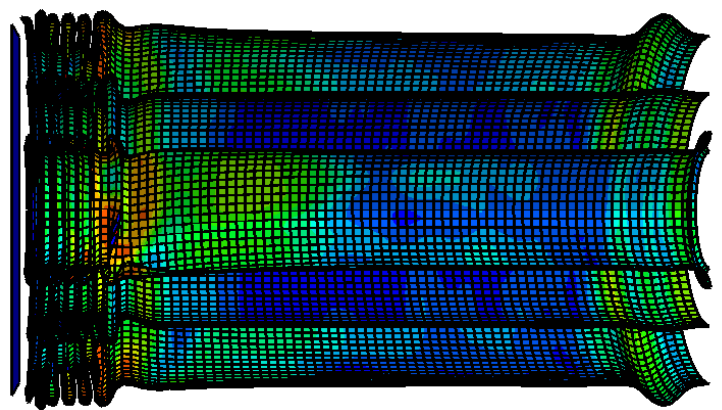


Fig. 3.4. Geometría 2 – DURALUMINIO –  $t=0,004\text{ s}$

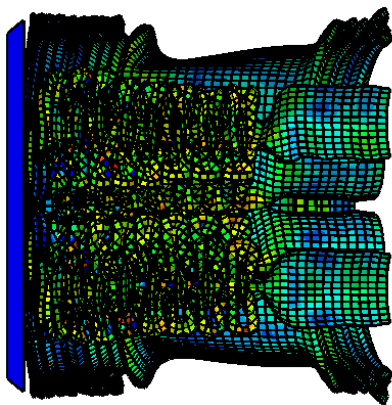


Fig. 3.5. Geometría 3 – ACERO –  $t=0,0065\text{ s}$

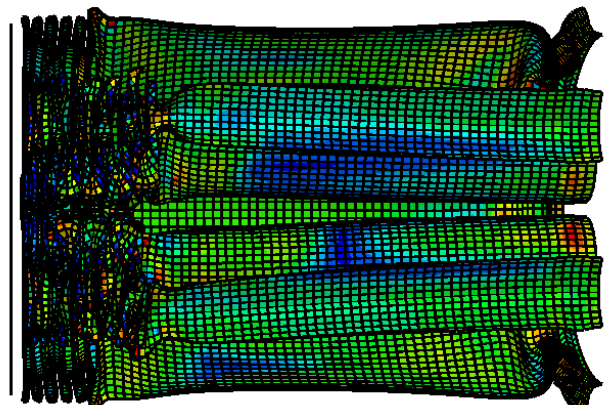


Fig. 3.6. Geometría 3 – DURALUMINIO –  $t=0,004\text{ s}$

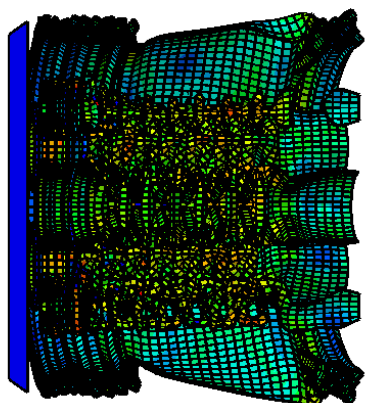


Fig. 3.7. Geometría 4 – ACERO –  $t=0,0065\text{ s}$

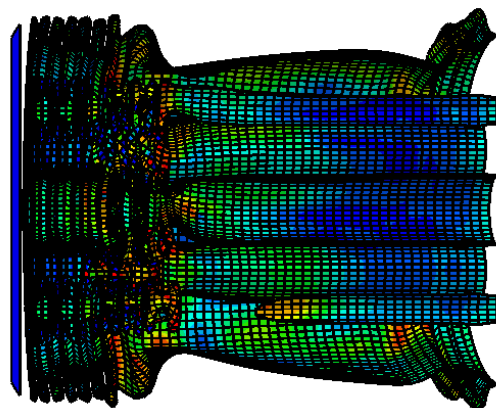


Fig. 3.8. Geometría 4 – DURALUMINIO –  $t=0,004\text{ s}$

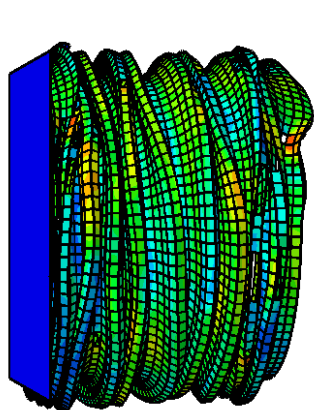


Fig. 3.9. Geometría 5 – ACERO –  $t=0,004\text{ s}$

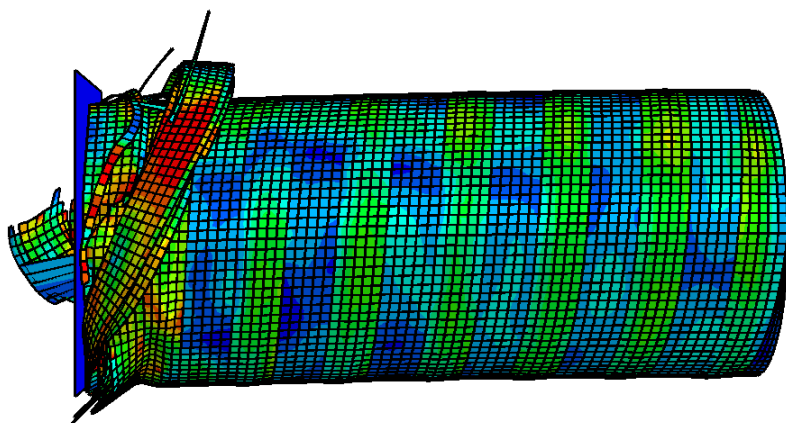


Fig. 3.10. Geometría 5 – DURALUMINIO –  $t=0,0025\text{ s}$

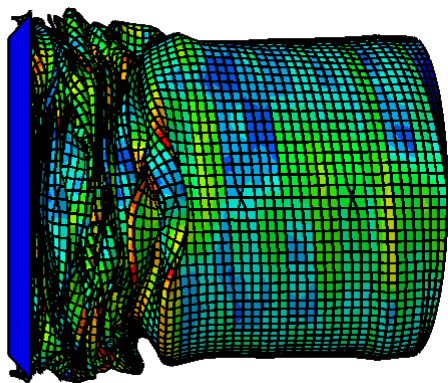


Fig. 3.11. Geometría 6 – ACERO –  $t=0,006\text{ s}$

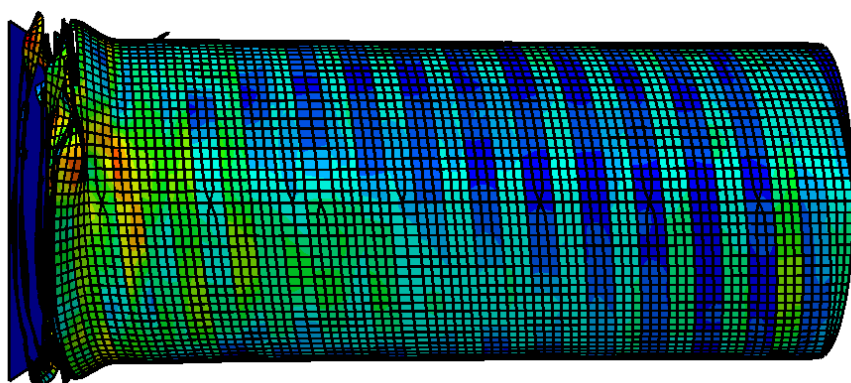


Fig. 3.12. Geometría 6 – DURALUMINIO –  $t=0,003\text{ s}$

- Energía Absorbida y Tiempo de Absorción (*Tablas 3.1. y 3.2.*);

<i>Acero</i>	<i>Energía [J]</i>	<i>Tiempo[s]</i>
<i>1</i>	<i>63429,1</i>	<i>0,00541</i>
<i>2</i>	<i>63429,1</i>	<i>0,0054</i>
<i>3</i>	<i>66827,5</i>	<i>0,00611</i>
<i>4</i>	<i>66659,5</i>	<i>0,00618</i>
<i>5</i>	<i>63281,5</i>	<i>0,00567</i>
<i>6</i>	<i>63285,6</i>	<i>0,00563</i>

*Tabla 3.1. Energía Acero*

<i>Duraluminio</i>	<i>Energía [J]</i>	<i>Tiempo[s]</i>
<i>1</i>	<i>56661,7</i>	<i>0,00314</i>
<i>2</i>	<i>63065,4</i>	<i>0,00327</i>
<i>3</i>	<i>66692,8</i>	<i>0,00367</i>
<i>4</i>	<i>66887,4</i>	<i>0,00462</i>
<i>5</i>	<i>50209,4</i>	<i>0,00216</i>
<i>6</i>	<i>54629,3</i>	<i>0,00193</i>

*Tabla 3.2. Energía Duraluminio*



## **4. Conclusiones**

A pesar de las variaciones registradas respecto a la energía absorbida, debidas a los propios procesos de análisis del software Abaqus, todas las configuraciones son capaces de detener el impacto, absorbiendo toda la energía cinética de la placa.

Teniendo en cuenta su eficacia, sólo nos queda comparar su eficiencia para determinar la mejor configuración posible, esto es, el tiempo de absorción.

- Todas las geometrías objeto de estudio son capaces de absorber la energía cinética de la placa.
- La deformación longitudinal en el caso del Acero es, en todos los casos, significativamente superior a la del Duraluminio.
- El tiempo empleado en la absorción total de energía cinética es, en todos los casos, significativamente inferior en el caso del Duraluminio.
- A pesar de estas diferencias, la progresión del modelo de comportamiento es muy similar en las Geometría 1 a 4 (cilindro hueco y cilindros auxiliares internos) entre Acero y Duraluminio.
- La Geometría 2 (cilindros auxiliares concéntricos) no presenta variaciones de comportamiento con respecto a la Geometría 1 (cilindro hueco), en Acero.
- La Geometría 2 (cilindros auxiliares concéntricos) no presenta variaciones con respecto a la Geometría 1 (cilindro hueco), en Duraluminio.
- Las Geometrías 3 y 4 (cilindros interiores no concéntricos) no presentan variaciones de comportamiento, en Acero.
- Las Geometrías 3 y 4 (cilindros interiores no concéntricos) presentan una deformación longitudinal mucho mayor, y detienen la placa en mayor tiempo, que la Geometría 1 (cilindro hueco).
- La Geometría 3 (cuatro cilindros interiores no concéntricos) presenta una deformación longitudinal mucho menor, y es capaz de detener la placa en menos tiempo, que la Geometría 4 (cuatro cilindros interiores no concéntricos más uno central concéntrico), en Duraluminio.
- La Geometría 3 (cuatro cilindros interiores no concéntricos) presenta una deformación ligeramente mayor, aunque detiene la placa en aproximadamente el mismo tiempo, que la Geometría 1 (cilindro hueco) en Duraluminio.
- La Geometría 4 (cuatro cilindros interiores no concéntricos más uno central concéntrico) presenta una deformación longitudinal mucho mayor, y detienen la placa en mayor tiempo, que la Geometría 1 (cilindro hueco) en Duraluminio.
- La Geometría 5 (hélice simple) presenta la mayor deformación longitudinal, y el mayor tiempo de detención de la placa, en Acero.
- La Geometría 6 (hélice doble) presenta una deformación longitudinal muy similar a la de la Geometría 1 (cilindro hueco), aunque en un tiempo mucho mayor, en Acero.

- La Geometría 5 (hélice simple) se comporta excepcionalmente bien, presentando una muy baja deformación longitudinal y muy poco tiempo de absorción, a pesar del colapso de su estructura, en Duraluminio.
- La Geometría 6 (hélice doble) se comporta extraordinariamente bien, presentando la más baja deformación longitudinal y el menor tiempo de absorción, en Duraluminio.

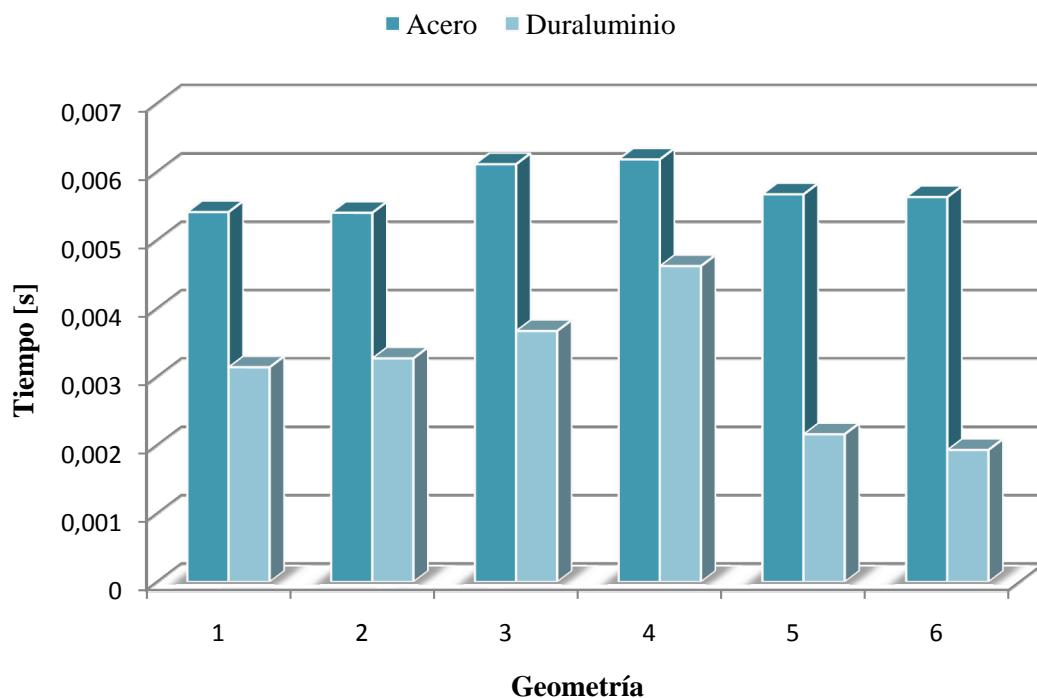
En términos generales, el Duraluminio presenta un comportamiento muy superior al Acero. Incluso el peor modelo de Duraluminio es superior al peor de Acero (*Gráfica 4.1.*).

La Geometría 2 (cilindros auxiliares concéntricos) no presenta excesivas diferencias de comportamiento respecto a la Geometría 1 (cilindro hueco). A pesar de contar con el mismo peso de material, teniendo en cuenta el coste adicional de su fabricación, se desaconseja este modelo, en Acero.

Las Geometrías 3 y 4 (cilindros interiores no concéntricos) presentan un comportamiento peor, con una mayor deformación y un muchísimo mayor tiempo empleado en la absorción de la energía. Además, si tenemos en cuenta su coste adicional de fabricación, se desaconseja este modelo, en Acero.

Las Geometrías 5 y 6 (hélices) presentan un comportamiento peor, con una mayor deformación y un mayor tiempo empleado en la absorción de la energía. Además, si tenemos en cuenta su coste adicional de fabricación, se desaconseja este modelo, en Acero.

Sin embargo, las Geometrías 5 y 6 (hélices) en Duraluminio presentan el mejor comportamiento, con una deformación mínima en el menor tiempo de absorción (sobre todo la Geometría 6 de doble hélice). A pesar del mayor coste de fabricación, nos encontramos con un modelo muy acertado.



Gráfica 4.1. Comparativa Tiempo de Absorción: Acero vs Duraluminio