

## DISEÑO Y VALIDACION DE SISTEMA DE ATENUACION DE IMPACTO MEDIANTE ESTRUCTURA COLAPSABLE

Matías Menghini, Luis Mariano Mundo, Damián Leandro Tamburi

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata  
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: [matias.menghini@ing.unlp.edu.ar](mailto:matias.menghini@ing.unlp.edu.ar)

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se han propuesto muchos diseños exitosos de atenuador de impactos utilizando diferentes materiales y geometrías. Los cuales son diseñados con el propósito de absorber la mayor cantidad de energía en un choque mediante una combinación entre deformación plástica y colapso, disminuyendo los esfuerzos que son transmitidos a la estructura principal del vehículo y las consecuentes aceleraciones sobre el piloto.

Los materiales y geometrías utilizadas para este tipo de estructuras abarcan un amplio espectro, desde estructuras realizadas en materiales ferrosos y no ferrosos, hasta materiales compuestos de altas prestaciones como fibra de carbono y Kevlar, siendo las geometrías de gran variedad y complejidad, dependiendo de los materiales utilizados y la tecnología para su correspondiente construcción. Por consiguiente en este trabajo se estudiará una estructura colapsable construida en aluminio y de geometrías sencillas, ya que lo que se busca es obtener resultados de simulaciones y ensayos los cuales permitan validar las simulaciones realizadas. Para ello inicialmente se establecerá cual es el diseño más adecuado desde el punto de vista de la performance del mismo así como de su complejidad constructiva. Definida la estructura, se procederá a abarcar dos ramas principales, de las cuales inicialmente se establecerá un diseño numérico con sus correspondientes simulaciones utilizando el software de elementos finitos Abaqus, para posteriormente realizar, la construcción y ensayo de la estructura en estudio.

### DESARROLLO DEL TRABAJO

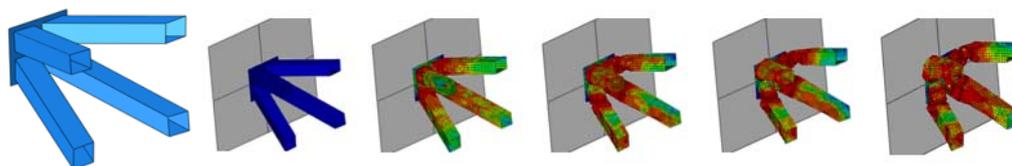
#### *Selección de diseños*

Según el reglamento de la Fórmula SAE, para la que se pretende diseñar el elemento absorbedor de impacto, se requiere frenar una masa de 300 Kg que impacta a una velocidad de 7 m/s verificando no superar una aceleración pico de 40 gs y una media de 20 gs.

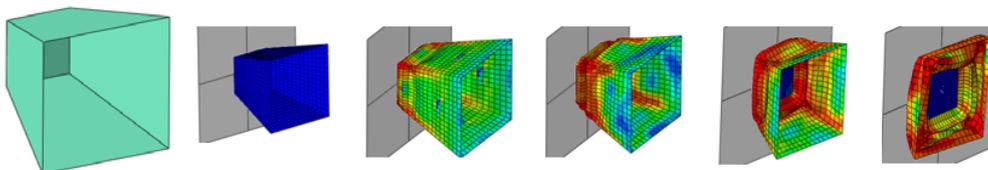
Como ya se mencionó la filosofía de diseño abarca distintos materiales y geometrías posiblemente utilizables. En este caso se optó por utilizar aluminio como material y variar la geometría para poder encontrar la que cumpla con el requerimiento. Por consiguiente se procedió a realizar distintos modelos de elementos finitos variando la geometría para poder hallar cuantitativamente cual es el diseño que cumpla de la mejor manera los requerimientos.

A continuación se presentan varias de las alternativas analizadas.

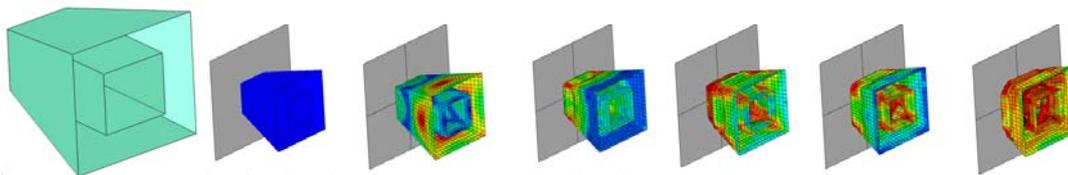
Configuración 1: Espesor de los tubos: 0,5mm.



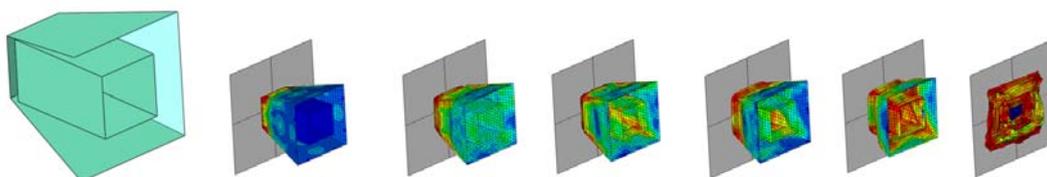
Configuración 2: Espesor de la chapa: 0,5mm.



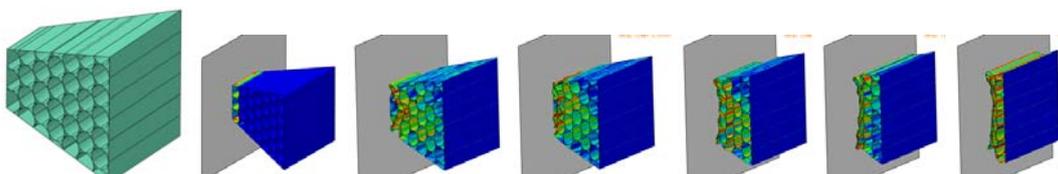
Configuración 3: Espesor de la chapas: 0,3mm.



Configuración 4: Espesor de la chapas: 0,3mm.



Configuración 5: Espesor de la chapas: 0,3mm.



Finalmente, con el objetivo de verificar el modelo FEM respecto del ensayo se optó por utilizar la configuración 2 debido a que es la más sencilla de fabricar.

Posteriormente se realizó la simulación para la condición de ensayo, la cual consiste en modelar el impacto de un péndulo con una determinada masa, el cual se detalla en las siguientes secciones. Cabe destacar que, tanto la simulación como el ensayo mencionados en los siguientes apartados se realizan sobre un absolvedor a escala del determinado para el impacto del vehículo de formula SAE ya que lo que pretende en estos primeros análisis es validar el modelo de elementos finitos realizado frente al respectivo ensayo.

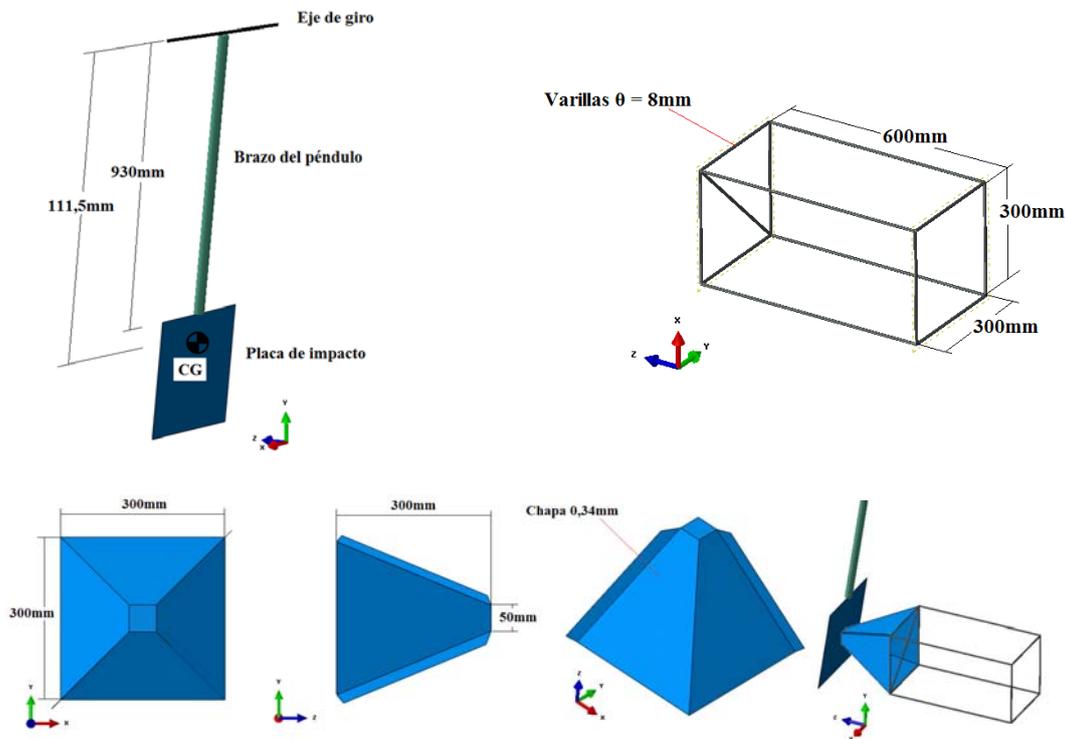
### **Metodología**

#### **Metodología del cálculo numérico**

Se presenta el modelo de elementos finitos confeccionado para simular la situación de ensayo, este tiene en cuenta el atenuador de impacto junto con la estructura que lo contiene y un péndulo de 20 Kg que impactará sobre estos. A continuación se detallan las consideraciones tenidas en cuenta en el modelado del problema.

## Geometría

Como ya se mencionó consiste en el atenuador en estudio, el cual fue modelado utilizando elementos placa por su característica de espesor delgado, la estructura sobre la cual se encuentra vinculado el atenuador, la cual se modeló utilizando elementos viga ya que consiste en una estructura de barras. Y el péndulo de impacto el cual fue modelado utilizando elementos viga para el brazo y una placa rígida discreta la cual impacta con el atenuador. Las siguientes figuras presentan la geometría del modelo.



Geometría del modelo

## Tipo de análisis

Como el caso en estudio tiene en cuenta fenómenos dinámicos y posee una alta no linealidad en la geometría a medida que progresa el impacto del péndulo se opta por realizar un análisis del tipo "Dinámico Explícito" en el que se tiene un período de tiempo de 0,2 segundos de análisis. Las cargas utilizadas solo son la aceleración de la gravedad para el péndulo.

Las condiciones de borde utilizadas en el modelo son de restricción de todos los grados de libertad en los nudos posteriores de la estructura soporte y restricción de todos los grados de libertad con excepción de la rotación alrededor del eje x para el anclaje del péndulo. A su vez se colocó una velocidad inicial en el centro de la placa de impacto de 4,95 m/s, equivalente a la que tendría si se soltara desde una altura de 1,2 metros de altura.

## Metodología experimental

El ensayo consistió en impactar la estructura en estudio mediante el sistema pendulante, para evaluar la respuesta de la estructura, el sistema utilizado consistió en un péndulo de 1,2 metro de longitud, el cual se liberó en todos los casos desde una altura de 1,2 metros. Al sistema se lo instrumentó mediante el uso de acelerómetros y celdas de cargas, a su vez se filmó mediante el uso de cámaras de alta velocidad a una tasa de 420FPS y 1000 FPS.

Los impactos se realizaron con diferentes masas que variaron desde los 40 Kg hasta los 20 Kg, esta variación en la masa del péndulo se implementó para ver la respuesta del atenuador en estudio y de la estructura soporte donde se encontraba vinculado dicho atenuador.



Dispositivo de impacto.

## RESULTADOS

### Resultados Experimentales

La posibilidad de poder utilizar una cámara de alta velocidad facilita la tarea de comparar el comportamiento experimental de la estructura con el obtenido numéricamente con el modelo de elementos finitos.

Se analiza el ensayo en el cual se utiliza como elemento de impacto una masa del péndulo de 20 Kg. A continuación se presenta una imagen con la estructura antes del impacto y su correspondiente luego de que el péndulo haya impactado con la misma.



Atenuador antes de ser impactado y posterior al mismo.

Para poder comparar en ensayo con el análisis numérico se utilizan diferentes imágenes tomadas a iguales intervalos de tiempo.

A continuación se presenta la secuencia de impacto del ensayo desde el momento en que el péndulo entra en contacto con el atenuador hasta el instante en que la velocidad del péndulo es nula.

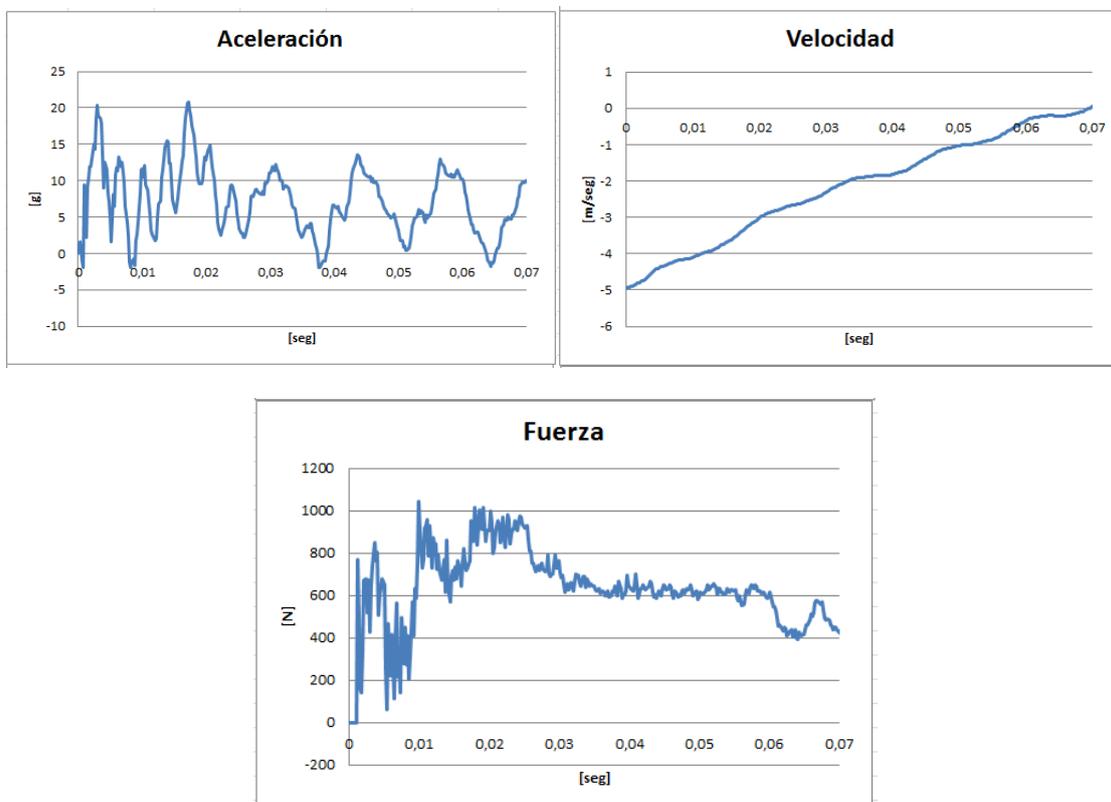


Secuencia de imágenes del impacto

El tiempo total de impacto obtenido en el ensayo, desde que el péndulo entra en contacto con el atenuador hasta que se detiene, fue de 65 ms.

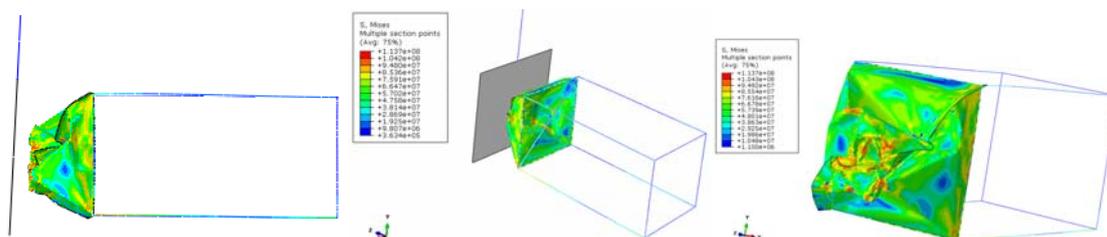
**Resultados numéricos:**

Mediante el análisis del impacto por medio del modelo de elementos finitos se obtienen los datos de aceleración y velocidad en el nodo central del péndulo desde el comienzo del impacto hasta el final del colapso de la estructura. Los cuales se presentan a continuación.



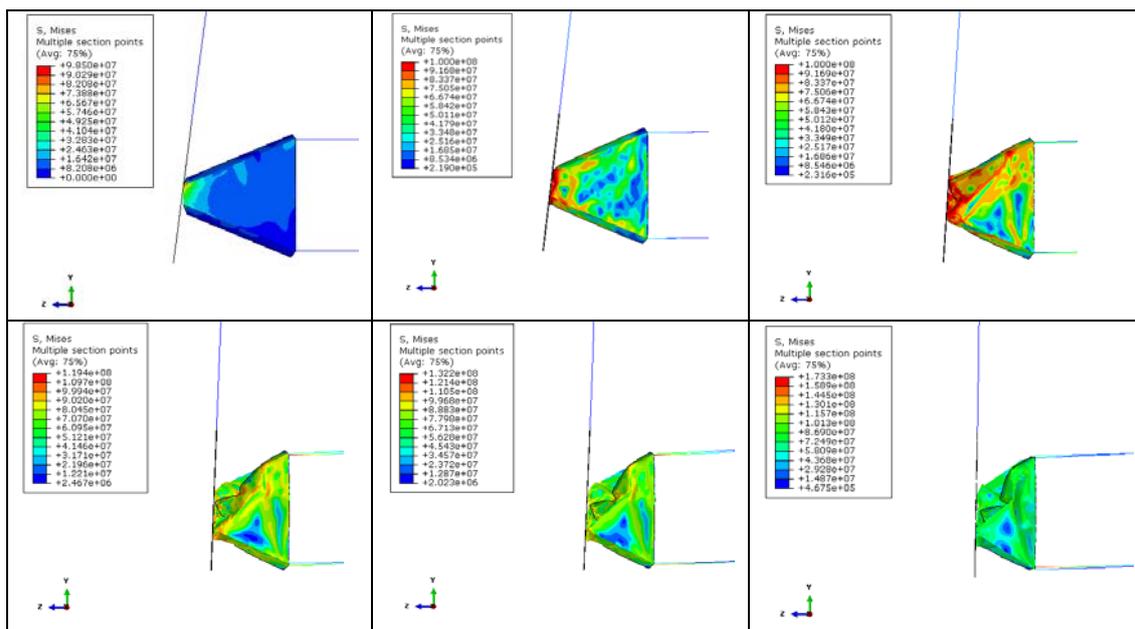
Curvas de aceleración velocidad y fuerza obtenidas en las simulaciones

A continuación se presentan algunas imágenes del atenuador una vez finalizado el impacto en el análisis.



Atenuador luego de finalizado el análisis

A continuación se presenta la secuencia de imágenes de impacto en el modelo numérico en el mismo lapso de tiempo que las imágenes tomadas en el ensayo.

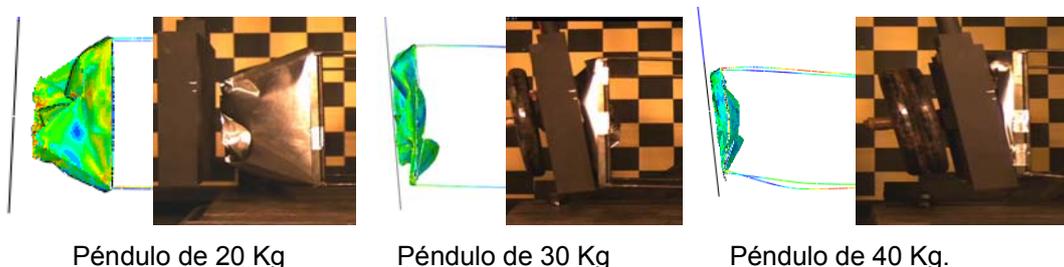


Impacto progresivo en el modelo

El tiempo total de impacto del modelo, desde que el péndulo entra en contacto con el atenuador hasta que se detiene, fue de 69 ms.

**Contraste ensayo vs. modelo FEM para los péndulos con diferentes masas**

A continuación se presentan las imágenes de los impactos para las diferentes masas del péndulo. Estas corresponden a 20Kg, 30Kg y 40Kg.



**CONCLUSIONES**

En la realización de los ensayos y simulaciones se observa que la respuesta del modelo en estudio es bastante buena desde el punto de vista de las deformaciones que aparecen durante el impacto y posterior al mismo, en cuanto a la respuesta dinámica en todos los casos para distintas masas se observó que los modelos planteados representan la realidad con bastante exactitud. Algunas variaciones se pueden deber a imperfecciones tanto en la fabricación de los componentes o en idealizaciones hechas en el modelo.

Debido a los pobres resultados obtenidos durante los ensayos en cuanto a adquisición de valores de cargas y aceleraciones, se planteara una metodología para la adquisición de datos en forma correcta, próximo paso en este trabajo.

**REFERENCIAS**

[1] Abaqus/CAE user's manual y Abaqus theory manual (versin 6.8), año 2008  
 [2] Formula SAE Rules,2013