

CAPÍTULO 3: DISEÑO PRELIMINAR.

3.1.- REQUISITOS DE DISEÑO.

Como ya se comentó brevemente en el capítulo de introducción, la realización del ensayo real precisaba del diseño de un elemento estructural que proporcionase rigidez al conjunto (denominado entonces *útil*). Además a la hora de concebir este nuevo elemento habrían de ser tenidos en cuenta las siguientes consideraciones.

a) Requisitos económicos.

- **La cantidad de material utilizado en la fabricación del útil será la mínima.**

b) Requisitos técnicos.

- **El útil habrá de presentar buena rigidez a flexión.** Al no ser posible que el conjunto AGU – NACA – cama descansase completamente sobre la mesa de vibración (las dimensiones del primero y la segunda lo impedían) era obvio que los ensayos vibratorios habrían de ser realizados con parte del elemento en voladizo. En realidad, había 2 configuraciones posibles para la realización de los ensayos, tomándose en cada caso aquella en la que la longitud del voladizo era menor. En cualquier caso, la presencia de deformaciones debidas a la flexión parecía garantizada y además, dicha flexión se antojaba responsable de las deformaciones asociadas a los modos de vibración obtenidos para las frecuencias naturales más bajas.

- **Relación rigidez – masa adecuada** de forma que las frecuencias naturales (ω_n) asociadas estuviesen lo suficientemente alejadas de las frecuencias naturales de la pieza a ensayar, para los primeros modos de vibración.

En concreto, la **primera frecuencia natural del útil habría de tomar un valor mayor o igual a 1.5 veces la frecuencia natural inicial de la toma AGU-NACA**. Estos valores de frecuencia (asociados a los distintos modos de vibración de la pieza) se han determinado numéricamente a partir de un modelo de Elementos Finitos facilitado por SACESA (**Fig. 3.1.1**).

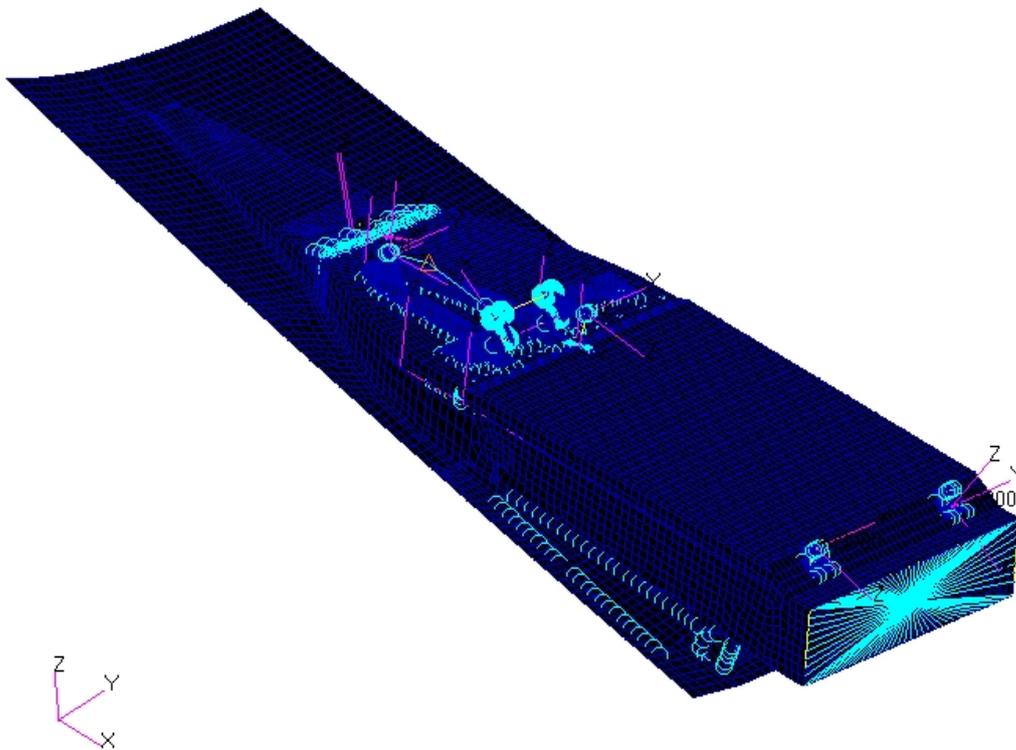


Fig. 3.1.1.- Modelo de Elementos Finitos de la toma AGU – NACA.

La **Tabla 3.1.1** muestra los valores obtenidos tras el análisis numérico.

- **Dimensiones adecuadas, de forma que pudiese asentarse sobre el útil la cama**, elemento que iría atornillado a él.

- Analizar la posición de los taladros asociados a la mesa de vibración, respecto del útil para asegurar su correcta fijación a la misma.

AGU – NACA	<i>FRECUENCIAS NATURALES (Hz)</i>
MODO 1	$\omega_1 = 27.601$
MODO 2	$\omega_2 = 29.167$
MODO 3	$\omega_3 = 34.678$
MODO 4	$\omega_4 = 38.466$
MODO 5	$\omega_5 = 50.513$
MODO 6	$\omega_6 = 56.285$
MODO 7	$\omega_7 = 64.470$
MODO 8	$\omega_8 = 66.926$
MODO 9	$\omega_9 = 71.393$
MODO 10	$\omega_{10} = 85.927$

Tabla 3.1.1.- Frecuencias naturales asociadas a los 10 primeros modos de vibración de la toma AGU – NACA.

c) Requisitos constructivos.

- Puesto que el elemento habría de ser construido a partir del diseño, éste tendría que tener en cuenta las dificultades asociadas a la fabricación.

3.2.- MODELO DE EF DEL DISEÑO PRELIMINAR.

Los primeros diseños desarrollados trataban de aunar todos los requerimientos anteriormente referidos. Con estas premisas, y tras una serie de comprobaciones y cambios realizados a partir de una idea inicial concebida (todo ese proceso ha sido obviado por no considerarse excesivamente relevante en lo que respecta al resultado final), se llegó a un diseño preliminar el cual se plasmó en un primer modelo de EF con el que se analizarán los requerimientos de diseño asociados a las condiciones de ensayo. En particular, en esta primera fase se contemplará el análisis de frecuencias naturales como parámetro más representativo del comportamiento de este elemento.

3.2.1.- Geometría.

La geometría concebida en el diseño preliminar estaba constituida por 2 largueros (longitudinales) y 5 travesaños (transversales), cada uno de los cuales tenía un perfil en H y pretendía fabricarse mediante placas soldadas. El proceso de creación de esta geometría puede seguirse a partir de las figuras que se muestran seguidamente aunque, a modo de breve explicación, es posible indicar que inicialmente se crearon los 2 largueros longitudinales (por extrusión de las superficies que se muestran en la **Fig. 3.2.1.1** y la posterior copia y traslación del primero de ellos a la distancia adecuada – **Fig. 3.2.1.3** –), para después crear los travesaños transversales (el primero de ellos igualmente por extrusión, en este caso de las superficies mostradas en la **Fig. 3.2.1.4** y los 4 restantes por traslación del mismo – **Fig. 3.2.1.6** –). Es preciso mencionar que las divisiones existentes en los largueros, que se pueden observar en la **Fig. 3.2.1.2**, se sitúan en las zonas de intersección con los travesaños. Por último fueron creados todos los aligerados (longitudinales y transversales). El resultado final de la geometría se muestra en la **Fig. 3.2.1.7** y las dimensiones asociadas a las 3 vistas principales del útil se recogen en la **Fig. 3.2.1.8**.

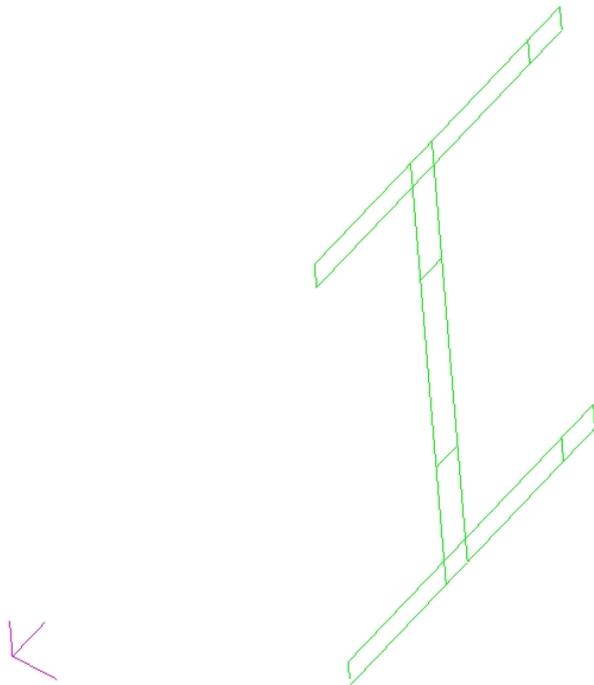


Fig. 3.2.1.1.- Superficies que conforman la sección del travesaño longitudinal.

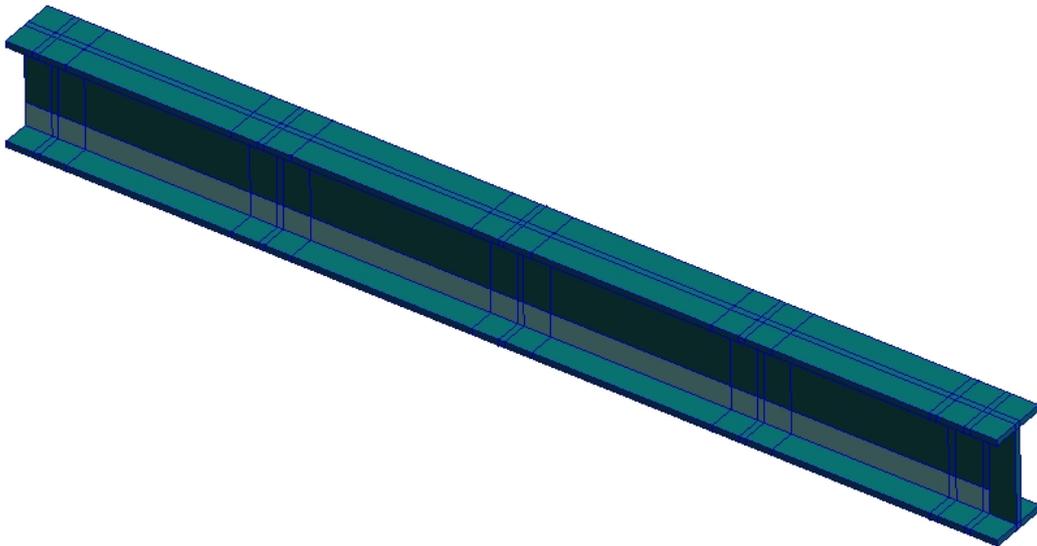


Fig. 3.2.1.2- Creación del primer travesaño longitudinal por extrusión de las superficies.

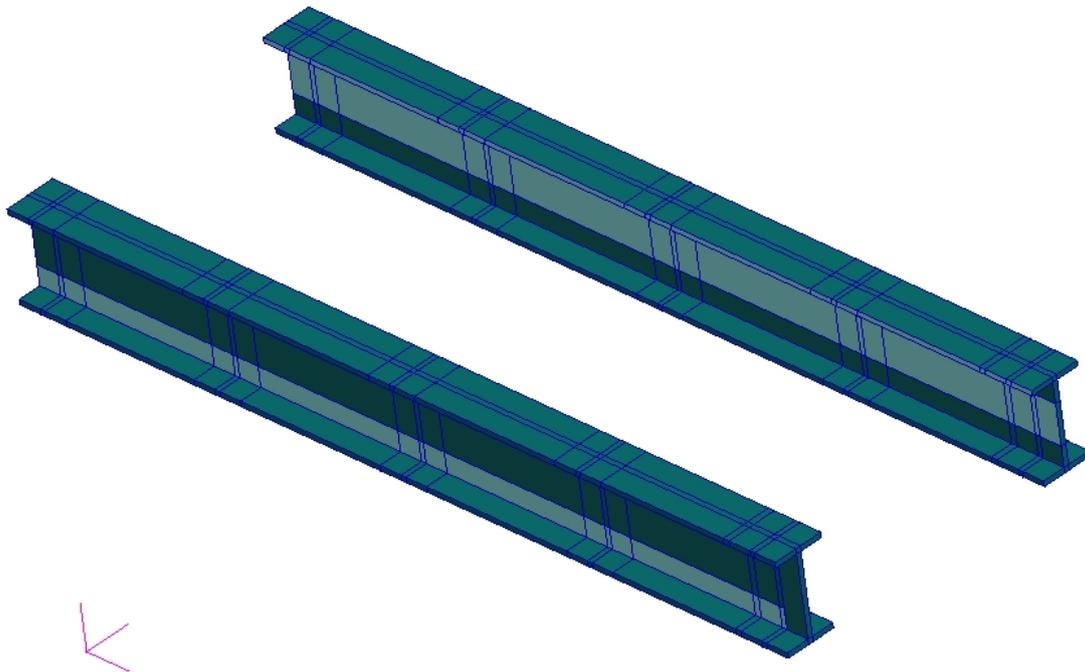


Fig. 3.2.1.3.- Creación del segundo travesaño longitudinal por traslación del primero.

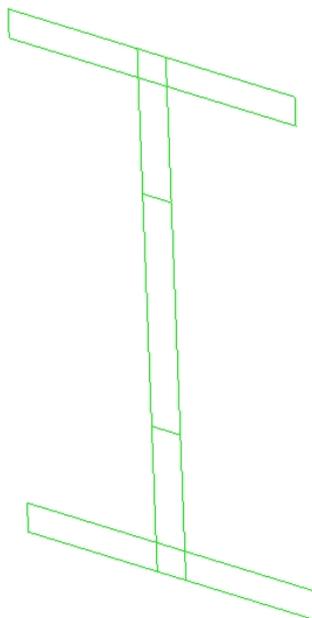


Fig. 3.2.1.4.- Superficies que conforman la sección del travesaño transversal.

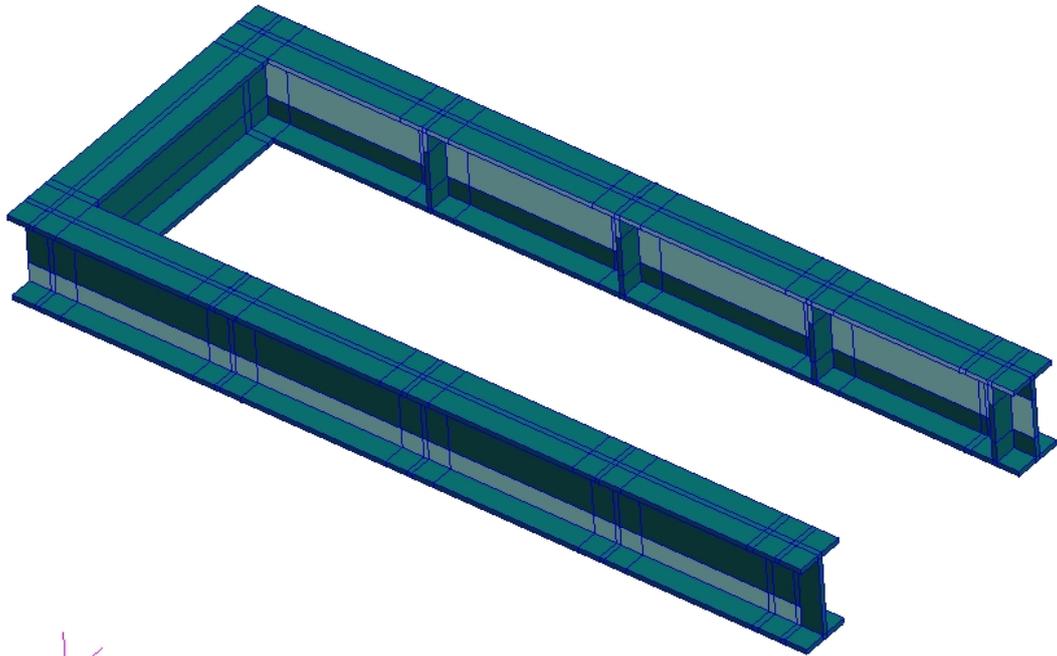


Fig. 3.2.1.5.- Creación del primer travesañ transversal por extrusión de las superficies.

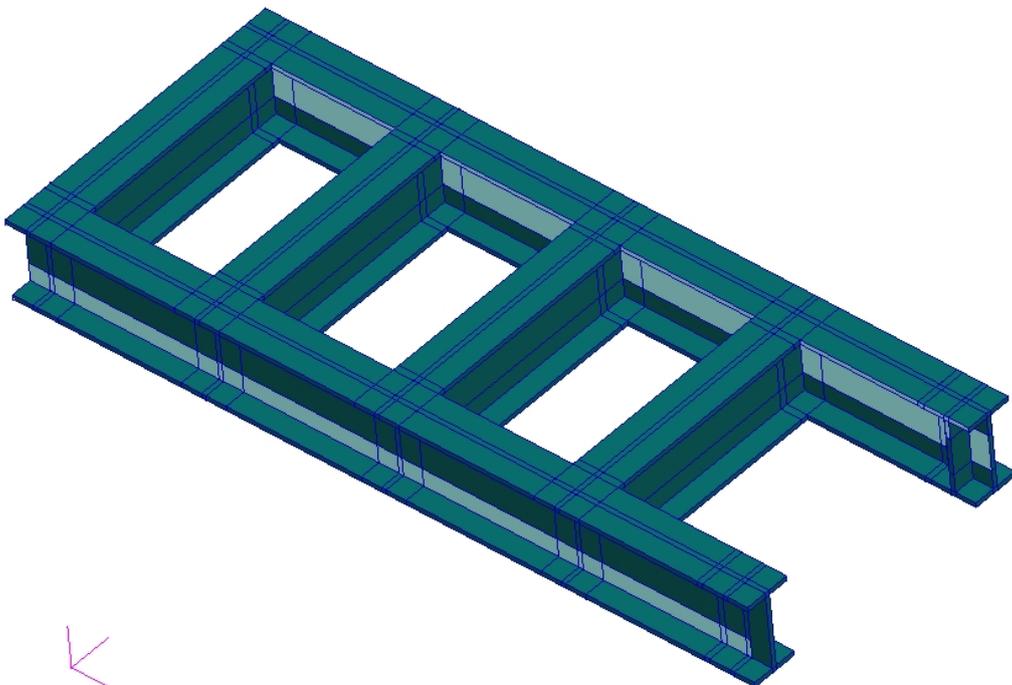


Fig. 3.2.1.6.- Creación de varios travesaños transversales por traslación del primero.

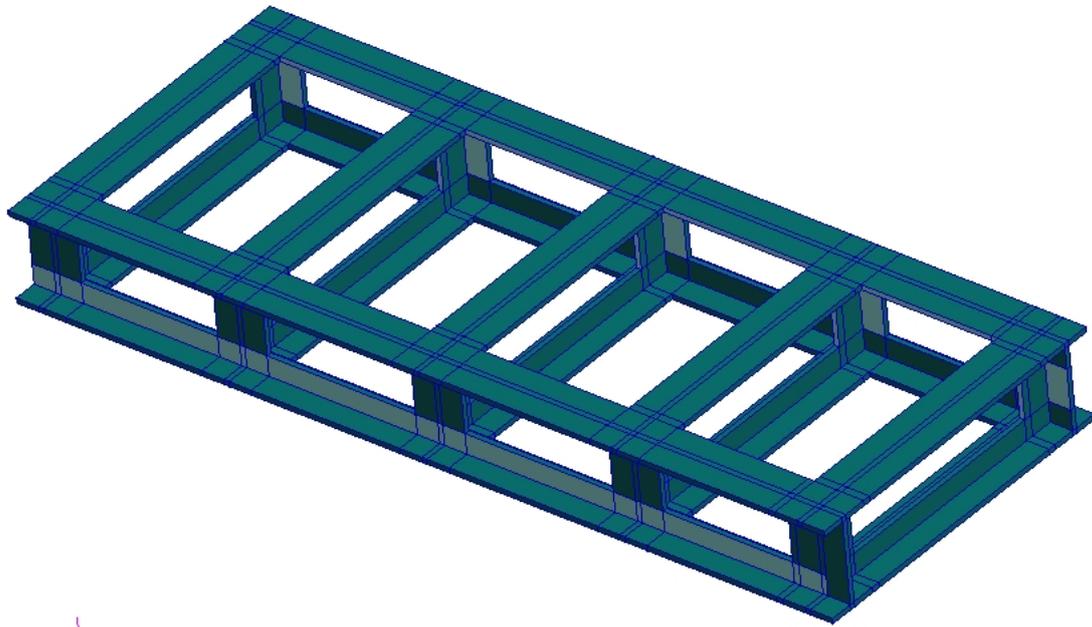


Fig. 3.2.1.7.- Geometría completa para el diseño preliminar del útil.

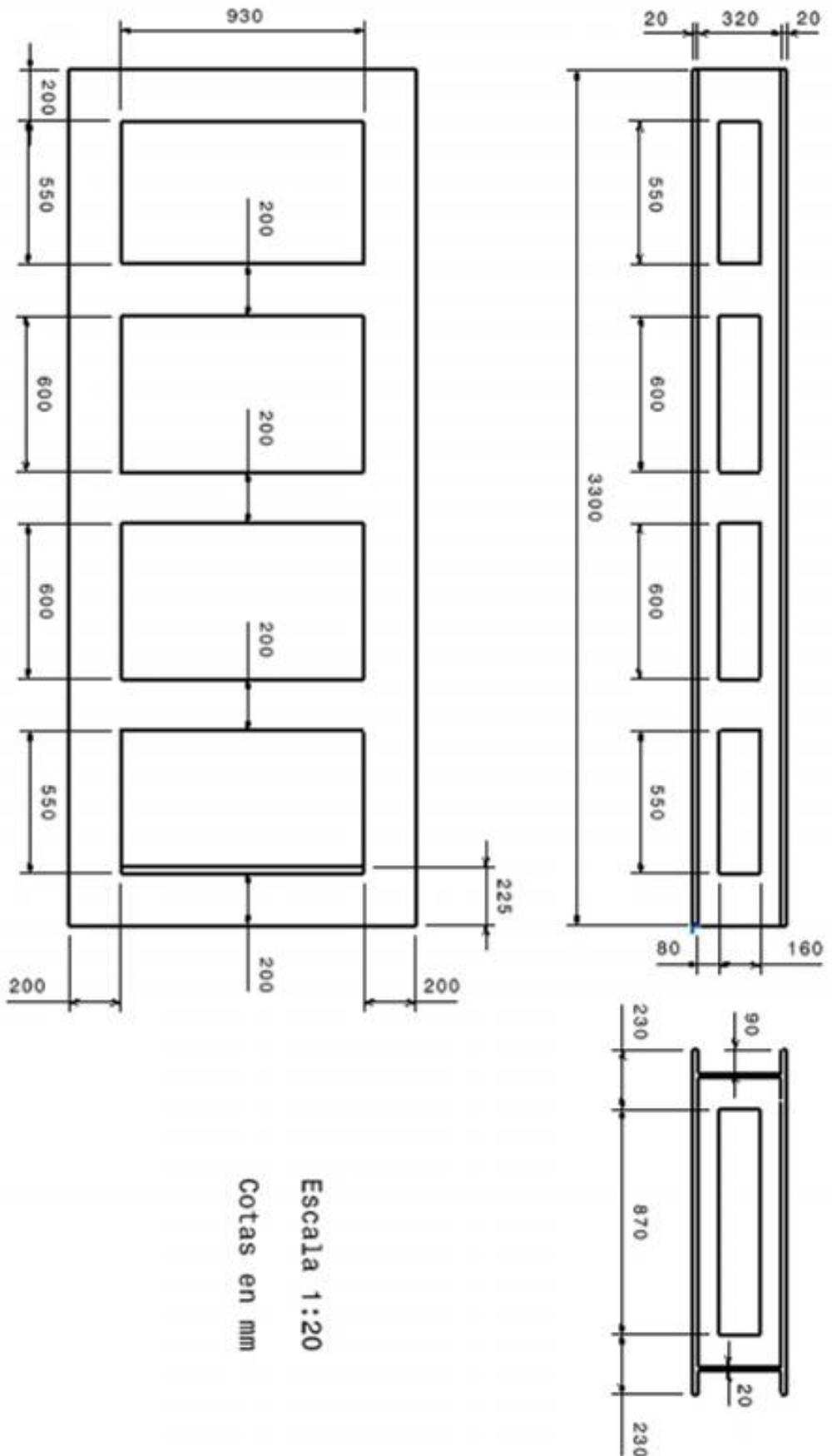


Fig. 3.2.1.8.- Dimensiones y vistas principales de la geometría preliminar.

3.2.2.- Mallado.

Así pues, una vez construida la geometría ésta fue mallada de forma automática utilizando elementos prismáticos de base rectangular de 8 nodos (**Hex8**) y de tamaño medio aproximadamente **30 mm**. La **Fig. 3.2.2.1** permite observar la geometría mallada del útil:

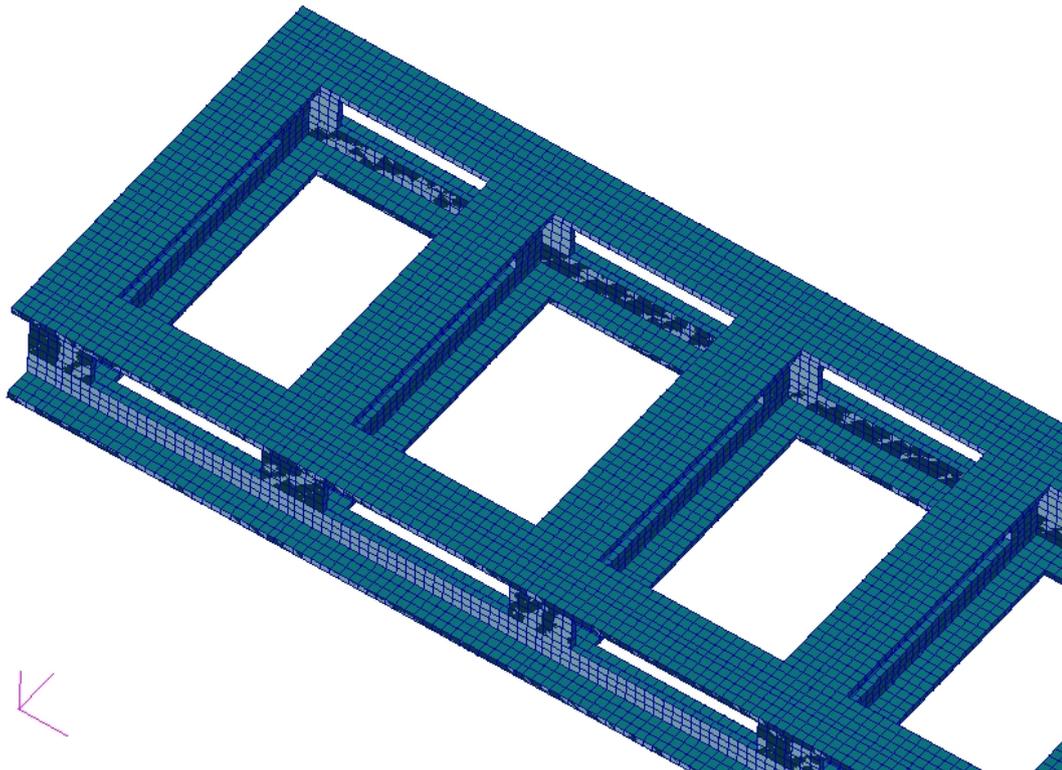


Fig. 3.2.2.1.- Mallado de la geometría asociada al modelo del diseño preliminar.

3.2.3.- Propiedades, cargas y condiciones de contorno (CC).

- Propiedades.

En principio, el material elegido para la fabricación del útil era una aleación de aluminio, dada la importancia que tenía en el ensayo el hecho de que la *relación rigidez/masa* fuese elevada (esta relación en el Al es superior al caso del acero). Esto se traducía en frecuencias de vibración más elevadas, lo que favorecía el cumplimiento de uno de los requisitos de diseño.

La elección de la aleación de Al a utilizar se realizó teniendo en cuenta las necesidades de soldabilidad requeridas para la fabricación del útil.

Para el análisis del modelo de EF se tomaron unas propiedades intermedias de entre las aleaciones de aluminio candidatas a ser finalmente utilizadas. Estas propiedades se recogen en la **Tabla 3.2.3.1**:

	ALEAC. ALUMINIO
E (MPa)	71020
ν	0.33
G(MPa)	26890
ρ (kg/m ³)	2796

Tabla 3.2.3.1.- Propiedades intermedias entre las aleaciones consideradas.

- Cargas.

Para el análisis de frecuencias naturales no era necesaria la aplicación de ningún tipo de carga o excitación.

- Condiciones de contorno (CC).

En principio, el análisis numérico de frecuencias naturales asociadas al útil se realizó tanto para la *disposición en voladizo* (situación más desfavorable porque se obtienen frecuencias de resonancia menores) como para la *disposición centrada*.

La única diferencia entre ambas CC era que en el primer caso el *empotramiento* se aplicaba a *todos los nodos de la superficie inferior que estuvieran a menos de 2 m. (2000 mm. en el modelo) del extremo izquierdo del útil* mientras que en el segundo el *empotramiento* afectaba a *todos los nodos de la superficie inferior que estuvieran a menos de 1 m. a cada lado de la línea media del útil*.

Las **Fig. 3.3.1** y **Fig. 3.3.2** muestran una representación gráfica de las condiciones de contorno aplicadas.

3.3.- RESULTADOS OBTENIDOS. ANÁLISIS DE REQUISITOS.

Como se desprende del apartado anterior, la geometría del útil corresponde a una bancada constituida por largueros y travesaños con perfiles en H. Dichos perfiles se estimaba serían construidos a partir de chapas del espesor adecuado. La elección de este tipo de perfiles se hizo de acuerdo a la necesidad de obtener una **buena rigidez a flexión fuera del plano**.

Por otra parte todas las placas asociadas a las almas de los perfiles en H fueron aligeradas con objeto de utilizar menor cantidad de material, lo que repercute, además de en el ámbito económico (el material se compra por kg.) en la consecución de frecuencias naturales más elevadas, puesto que **el cociente rigidez/masa**, que controla los valores de las frecuencias de vibración, **se ve incrementado** al disminuir su denominador.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las 2 disposiciones referidas anteriormente:

➤ Disposición en voladizo.

La disposición en voladizo está representada en la **Fig. 3.3.1**. Las condiciones de contorno impuestas (que aparecen representadas de color naranja) impiden

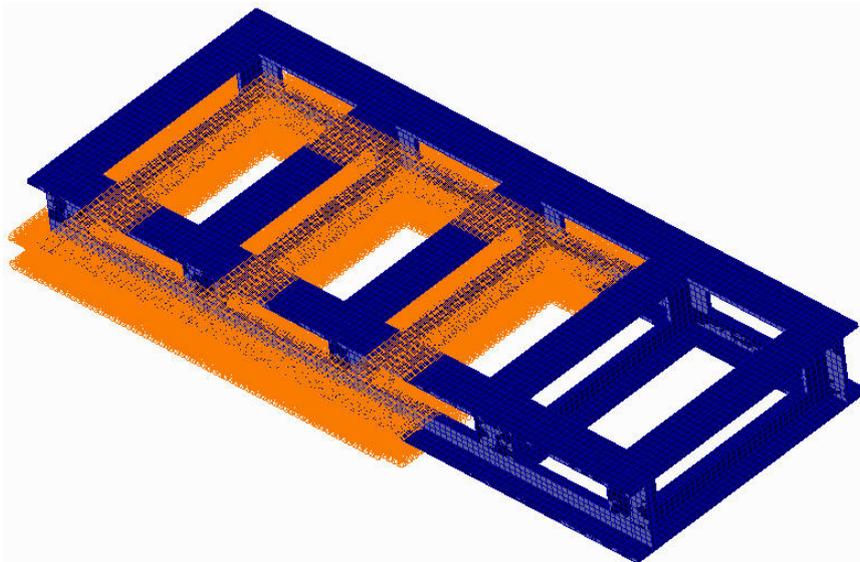


Fig. 3.3.1.- Disposición voladizo del modelo del diseño preliminar del útil.

Los valores de frecuencia natural obtenidos en este caso se muestran en la **Tabla 3.3.1.**

UTIL VOLADIZO	FRECUENCIAS NATURALES (Hz)
MODO 1	$\omega_1 = 65.023$
MODO 2	$\omega_2 = 90.057$
MODO 3	$\omega_3 = 97.641$
MODO 4	$\omega_4 = 121.42$
MODO 5	$\omega_5 = 200.87$
MODO 6	$\omega_6 = 256.21$
MODO 7	$\omega_7 = 274.64$
MODO 8	$\omega_8 = 276.25$
MODO 9	$\omega_9 = 307.16$
MODO 10	$\omega_{10} = 311.68$

Tabla 3.3.1.- Frecuencias naturales para el útil en voladizo.

➤ Disposición centrada.

La disposición centrada está representada en la **Fig. 3.3.2**. Las condiciones de contorno impuestas (que aparecen representadas de color naranja) impiden todos los grados de libertad (g.d.l.) a aquellos nodos situados en la superficie inferior del útil que estarían en contacto con la mesa de vibración, esto es, el atornillamiento del útil a la mesa de vibración se modela en este caso mediante el empotramiento de la superficie de contacto entre ambos.

Los valores de frecuencia natural obtenidos en este caso se muestran en la **Tabla 3.3.2.**

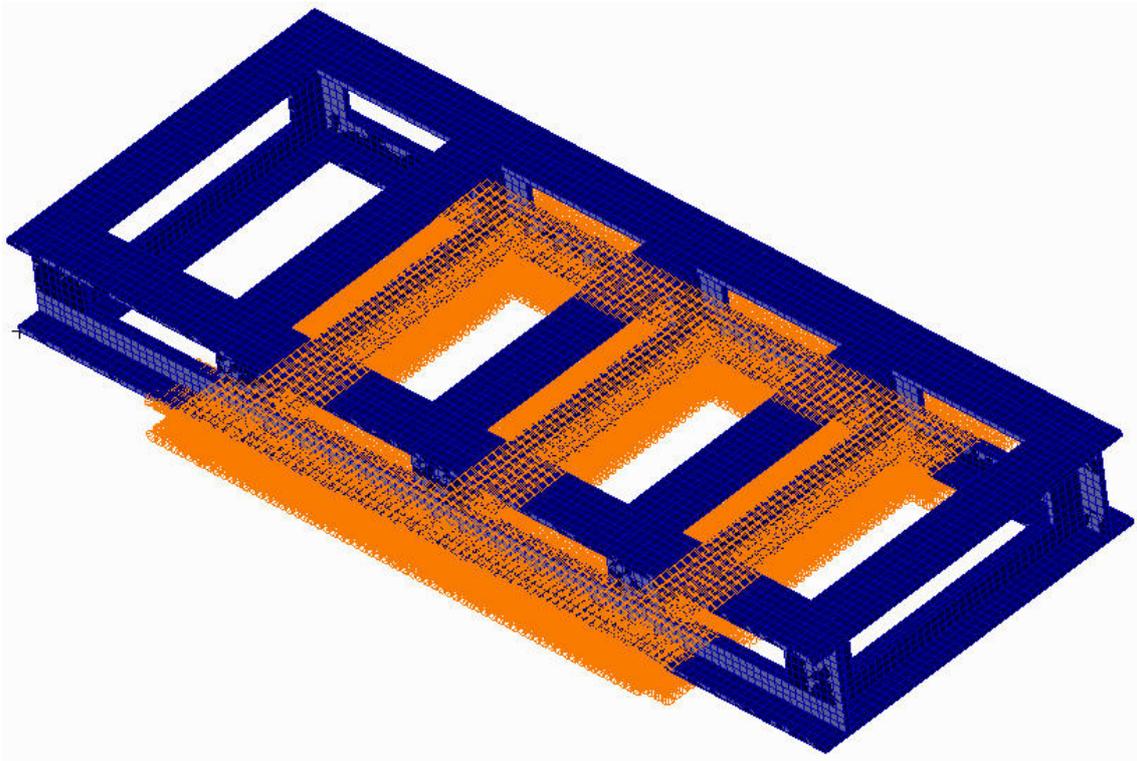


Fig. 3.3.2.- Disposición centrada del modelo del diseño preliminar del útil.

Basta observar los resultados derivados de estos análisis numéricos, realizados (tanto para el útil como para la toma AGU – NACA), para cerciorarse que, en efecto, el útil cumple con la especificación técnica “**Relación rigidez –masa adecuada**”, que garantiza que la introducción del útil en el conjunto formado por la cama y la toma AGU – NACA no influirá en los resultados derivados de los ensayos de vibración (cuyo objeto es la pieza de material compuesto) dada la diferencia existente entre los rangos de frecuencia en los que se mueven cada uno de los elementos.

En lo que se refiere a la necesidad de que la cama descansa completamente sobre el útil, puede constatarse el cumplimiento de la misma a través de la **Fig. 3.3.4**, donde se muestra el asentamiento de la cama sobre el útil y el hecho de que todo el perímetro exterior de la cama está dentro de la superficie superior del útil.

Por último queda constatar la posibilidad de atornillamiento a la mesa, hecho que quedará patente tras observar la **Fig. 3.3.5** y **Fig. 3.3.6**, en las que se muestran las 2 disposiciones del útil sobre la mesa de vibración.

UTIL CENTRADO	FRECUENCIAS NATURALES (Hz)
MODO 1	$\omega_1 = 109.89$
MODO 2	$\omega_2 = 124.96$
MODO 3	$\omega_3 = 142.66$
MODO 4	$\omega_4 = 165.09$
MODO 5	$\omega_5 = 170.70$
MODO 6	$\omega_6 = 192.25$
MODO 7	$\omega_7 = 197.46$
MODO 8	$\omega_8 = 277.76$
MODO 9	$\omega_9 = 306.92$
MODO 10	$\omega_{10} = 307.85$

Tabla 3.3.2.- Frecuencias naturales para el útil en voladizo.

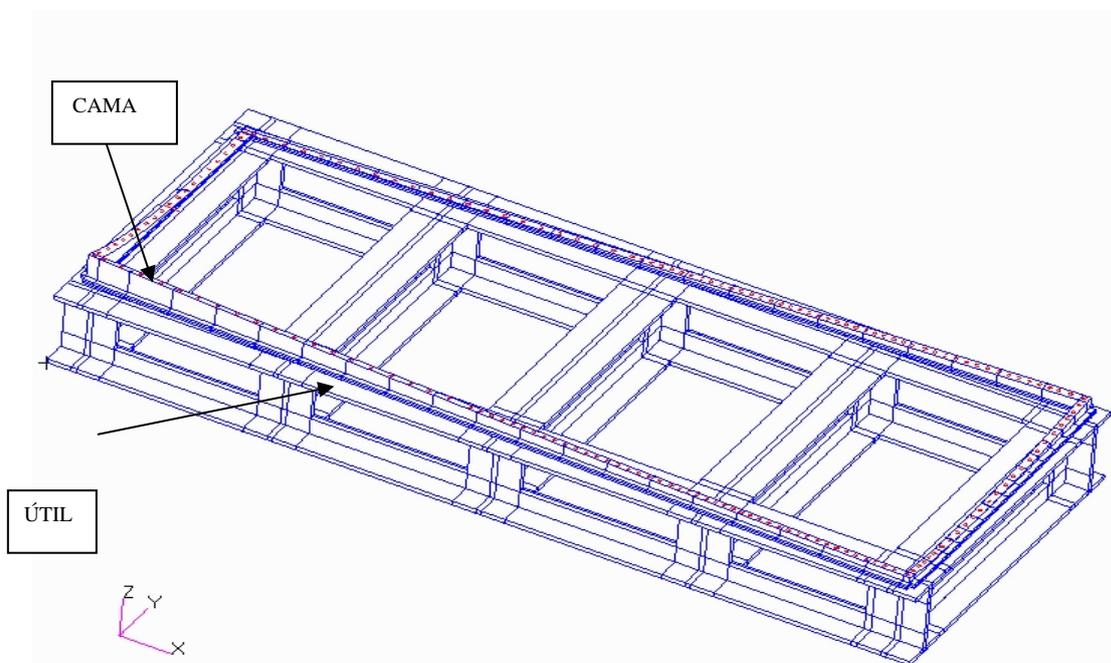


Fig. 3.3.3.- Conjunto útil – cama en el que se comprueba que la segunda queda dentro del contorno exterior del primero.

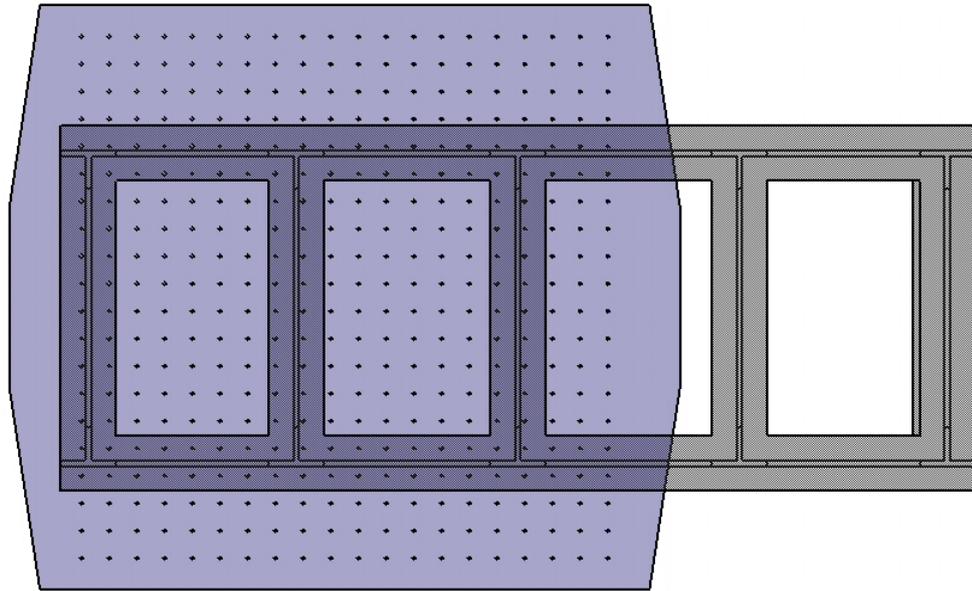


Fig. 3.3.4.- Conjunto útil – mesa vibración para la disposición en voladizo.

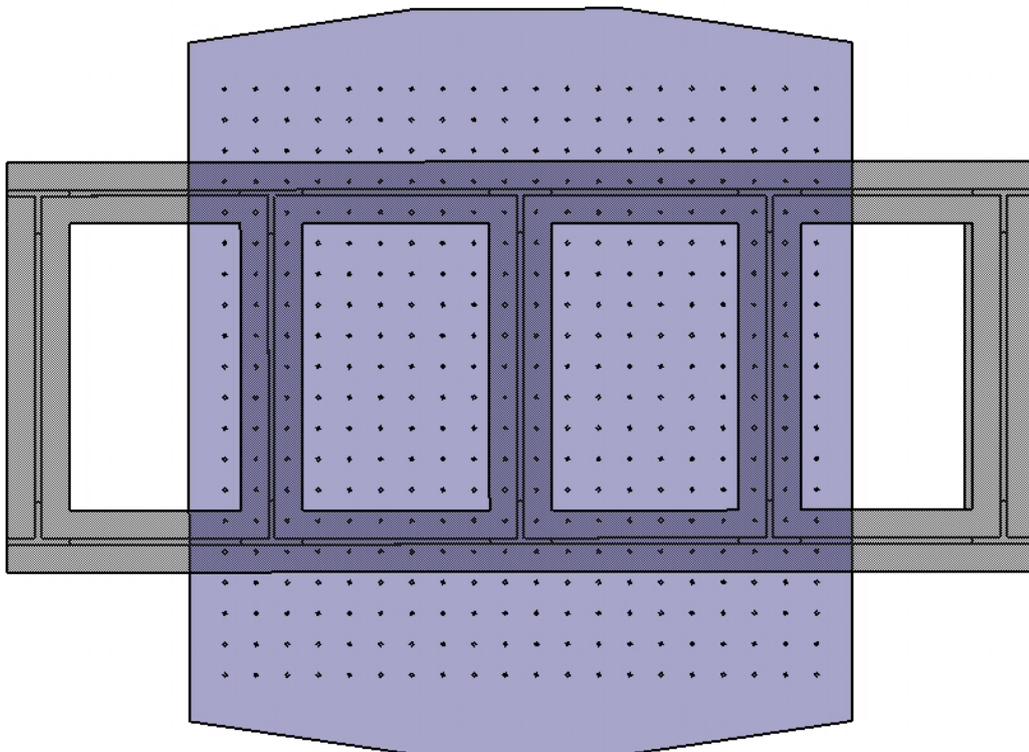


Fig. 3.3.5.- Conjunto útil – mesa vibración para la disposición centrada.

De esta forma se veían aceptablemente satisfechos la gran mayoría de los requisitos exigidos a este elemento.