

ANEXO I

MEMORIA DE CÁLCULO DE LA BOYA

INDICE

1. Descripción de la estructura	3
2. Materiales utilizados y criterios límites	5
3. Hipótesis de carga	7
4. Modelo	10
5. Resultados	11
6. Conclusión	18

1.- Descripción de la estructura

La memoria de cálculo tiene por objeto justificar el dimensionado de la boya del generador marino puntual, de cuyo concepto y diseño se ocupa el presente proyecto.

La boya, como ya se ha descrito en el proyecto, es la encargada de obtener el empuje vertical (igual al peso del volumen de agua desalojada). Este empuje vertical variará en función de la línea de aguas, de tal forma que el empuje tenga una variación armónica igual a la oscilación de las olas y que será la fuerza motriz generadora de potencia. Esta fuerza es comunicada a la camisa del cilindro, que está unida rígidamente a la boya. El cilindro es el encargado de convertir el empuje en una presión oleohidráulica, que genera un caudal capaz de mover un motor hidráulico que activa un generador eléctrico.

A parte de las diferentes consideraciones planteadas en el proyecto para el diseño de la boya, uno de los criterios principales a tener en cuenta en el diseño definitivo es la resistencia estructural y la economía de su construcción.



figura A1

Como se puede apreciar en la *figura A1*, la boya esta formada por un tronco de cono invertido en su parte inferior, un cilindro en la zona intermedia, y cerrando la boya en la parte superior un casquete esférico de gran radio. Las intersecciones se han conformado con amplios radios de acuerdo. Este conjunto de elementos forman un cuerpo de revolución, siendo la vertical el eje de revolución.

Con el empleo de estas superficies para la conformación de la boya, se consigue que la sollicitación principal a la que se somete la boya, que es la presión hidrostática, genere esfuerzos de membrana sobre la plancha de acero que la forma, por lo que se optimiza su empleo.

Por otro lado, al realizar la unión rígida entre la boya y el cilindro en la parte más baja, el empuje vertical se traduce en una tracción sobre la superficie de la boya en planos verticales. Aparece tan solo compresión en aros horizontales. Es por esto que la posibilidad de colapso de la estructura se reduce a una sola forma.

Se ha omitido el empleo de rigidizadores, ya que los esfuerzos de compresión no son grandes, pues la boya está sometida a bajas presiones por estar en la superficie del agua. Y, aunque estos permitieran reducir en algún milímetro el espesor empleado en la chapa de acero, encarecería su construcción.

El cálculo se va a realizar mediante el programa comercial de elementos finitos NASTRAN.

Todas las magnitudes se van a expresar en el sistema internacional.

2.- Material utilizado y criterios límite

2.1 – Material utilizado:

El material que se va a emplear para la fabricación de la boya, es el llamado “acero naval”, de características equivalentes al acero St-275.

Las características del material son las siguientes:

E – Modulo de elasticidad: $2,6 \text{ E}11 \text{ N/m}^2$

ν – Coeficiente de Poisson: = 0,3

σ_L - Límite elástico : $2,75 \text{ E}8 \text{ N/m}^2$

KI – Tenacidad :

En este punto, se llama la atención sobre la posibilidad de emplear otros materiales distintos al acero para la construcción de la boya, como podría ser el epoxy reforzado con fibra de vidrio, que presenta muy buenas propiedades frente la corrosión, una reducción considerable del peso y una posible mejora económica.

2.2 – Criterios límite:

El estado límite último de servicio se va a fijar en la mitad del límite elástico, de tal forma que con esta reducción del límite elástico, se integren los distintos coeficientes reductores necesarios para contemplar los fenómenos de la mecánica de la fractura y fatiga, que por ser un prototipo lo que se está desarrollando en el presente proyecto no se justifica el estudio en profundidad de estos fenómenos.

El pandeo es un fenómeno que si es obligatorio analizar, pues el colapso de la boya la inhabilitaria. Se va a fijar en 2 el coeficiente mínimo de seguridad de la estructura frente al colapso.

El espesor de la plancha que se determine para la fabricación de la boya, será aquel que cumpla los dos criterios límites definidos.

3. Hipótesis de carga

Se van a considerar las siguientes hipótesis de carga:

Hipótesis I:

La boya está totalmente sumergida medio metro por debajo de la superficie de agua.

La presión hidrostática en cualquier punto de la boya es función de la distancia a la superficie del agua.

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Siendo

- Densidad del agua marina. $\rho = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Aceleración gravitatoria. $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Profundidad. h (en metros)

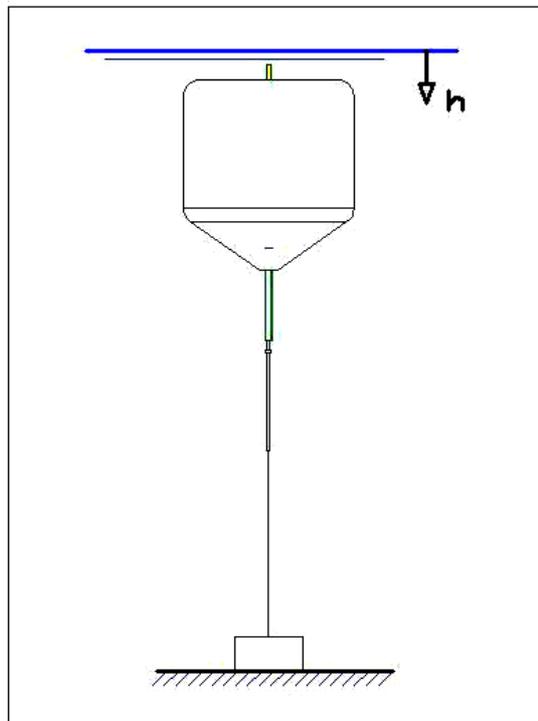


figura A2

Para esta hipótesis se considera la boya empotrada por su parte inferior, por donde esta unida rígidamente al cilindro.

Hipótesis II:

Una ola rompe justo en la boya, en el estado de funcionamiento normal, de tal forma que ejerce una presión P_i sobre una región determinada.

La velocidad de las partículas de agua de la cresta de una ola que rompe es:

$$u = 1,25 \cdot \sqrt{g \cdot H}$$

H es la altura de la ola en metros.

La presión que ejercen estas partículas sobre una superficie:

$$P_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_s \cdot u^2$$

Siendo C_s el coeficiente de forma de la estructura. La Norma DNV- indica para una superficie cilíndrica un valor de 3.

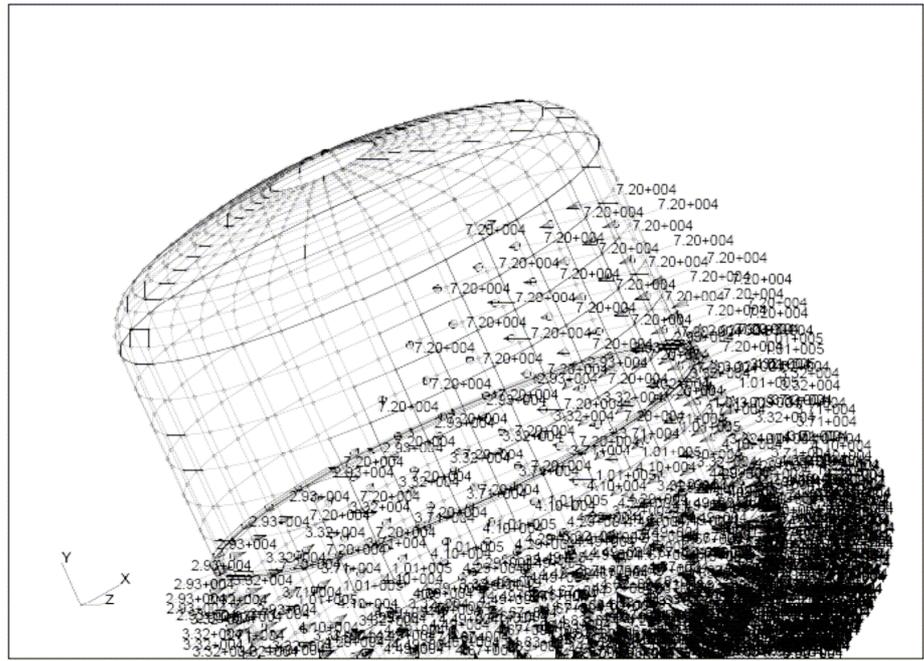


figura A3

Como en la zona elegida donde se va emplazar el generador se tienen picos de olas de hasta 5m, se debe contemplar este dato para garantizar la supervivencia del aparato.

Para una ola de 5 metros se obtiene una presión de $120E3 \text{ N/m}^2$.

Como lo que se produce es un impacto, se va a modelar la boya para estudiar esta hipótesis empotrada tanto en el aro inferior como en el superior.

4.- Modelo

A continuación se muestra el mallado de la boya. Se ha aumentado el número de elementos donde se prevé un mayor gradiente de los esfuerzos.

Para la superficie de la boya se han empleado elementos cuadrados 2D, y para simular la rigidez de la planta, donde se ubican los distintos sistemas del generador, se han empleado elementos 1D, en el anillo de la boya donde se apoya esta.

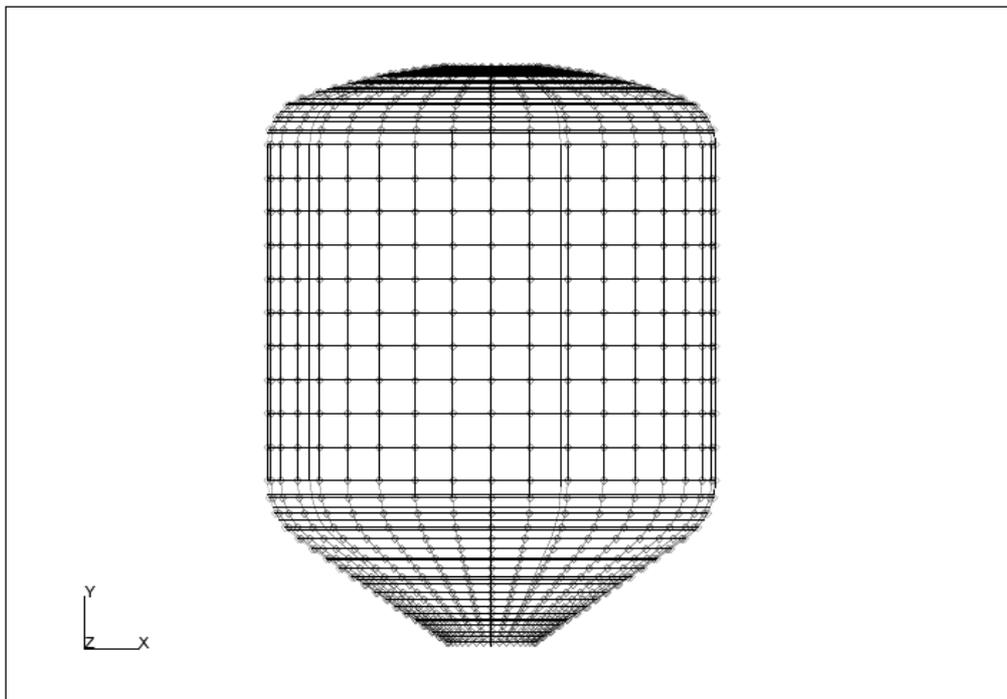


figura A4

El elemento seleccionado para modelar el comportamiento de la chapa de acero es el elemento 2D, llamado QUAD4, con propiedades del material acero y espesor el definido.

Y para el elemento 1D, se ha escogido el elemento tipo beam, de propiedades la de una UPN-100.

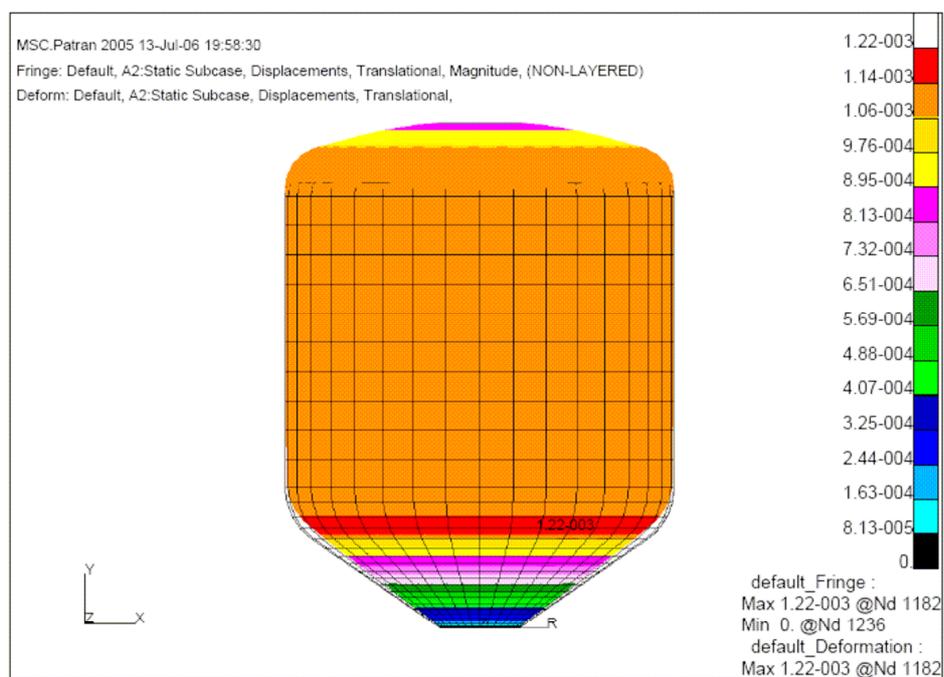
5.- Resultados

Para presentar los resultados se va a emplear el método gráfico, omitiendo los archivos de textos donde aparecen los valores de las distintas variables para cada nodo por ser una cantidad excesiva, que en todo caso no haría más que abultar.

Ha continuación se muestra gráficamente los resultados obtenidos de los desplazamientos y tensiones de Von Mises del estudio estático, para comprobar que se cumple el criterio de que en ningún punto se alcanza una tensión superior al 50% de límite elástico.

Hipótesis I:

Desplazamientos



Tensiones de Von Mises

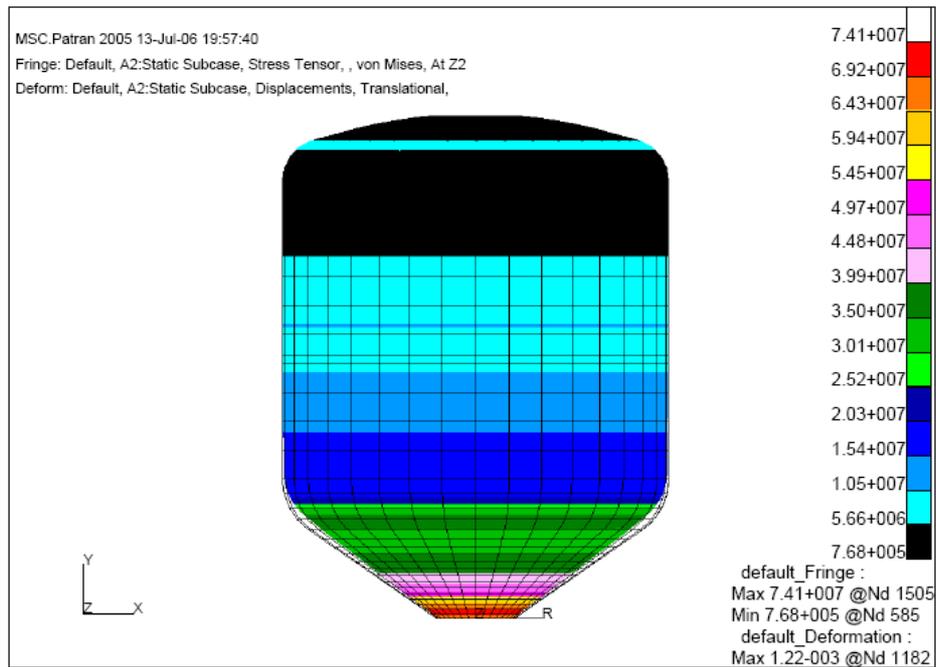


figura A6

Hipótesis II:

Desplazamientos

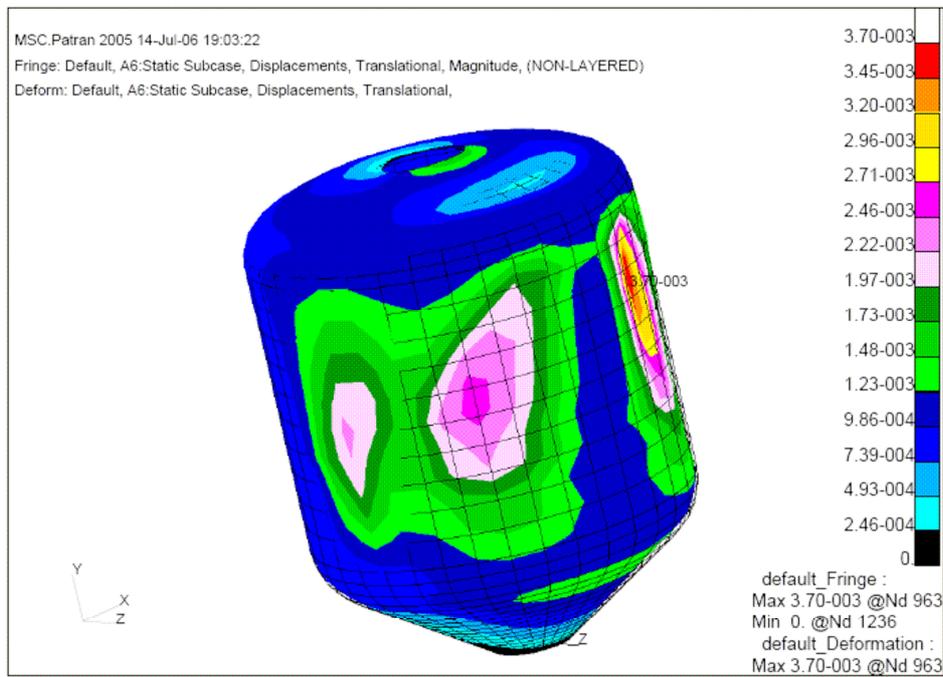


figura A7

Tensiones de Von Mises

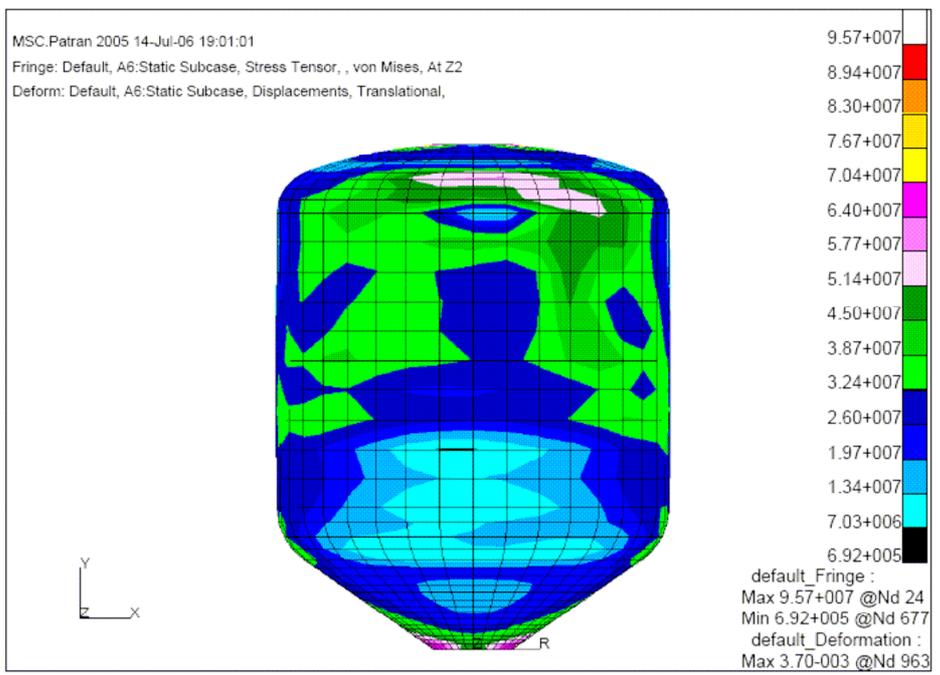


figura A8

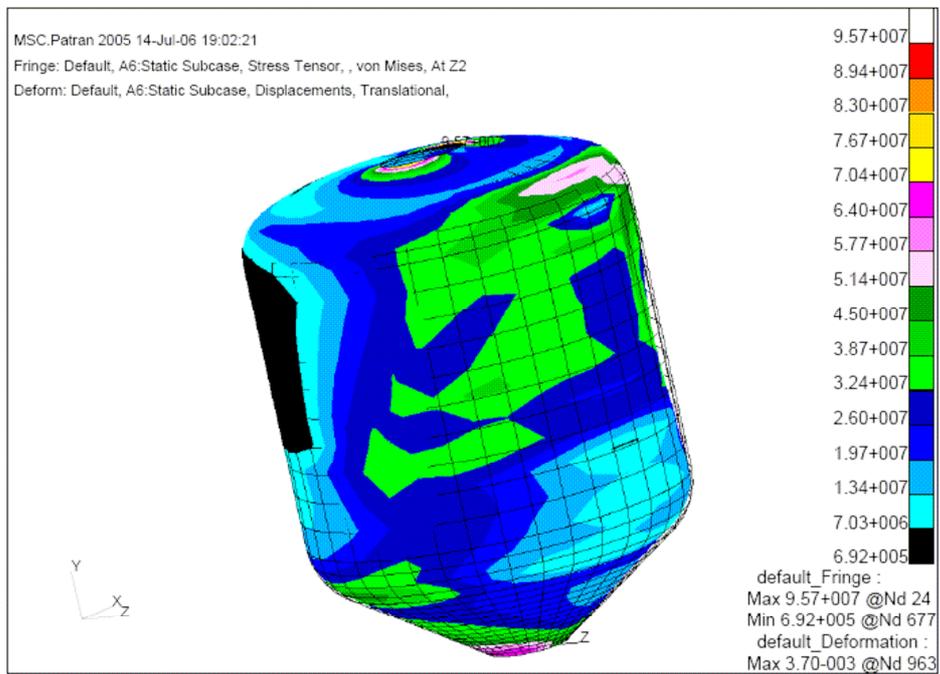


figura A9

Para comprobar el segundo criterio impuesto, se realiza el análisis llamado "buckling". Como parámetro se impone que calcule los primeros 6 modos de pandeo que presenta la boya, para cada hipótesis de carga estudiado.

Hipótesis I:

Modo 1:

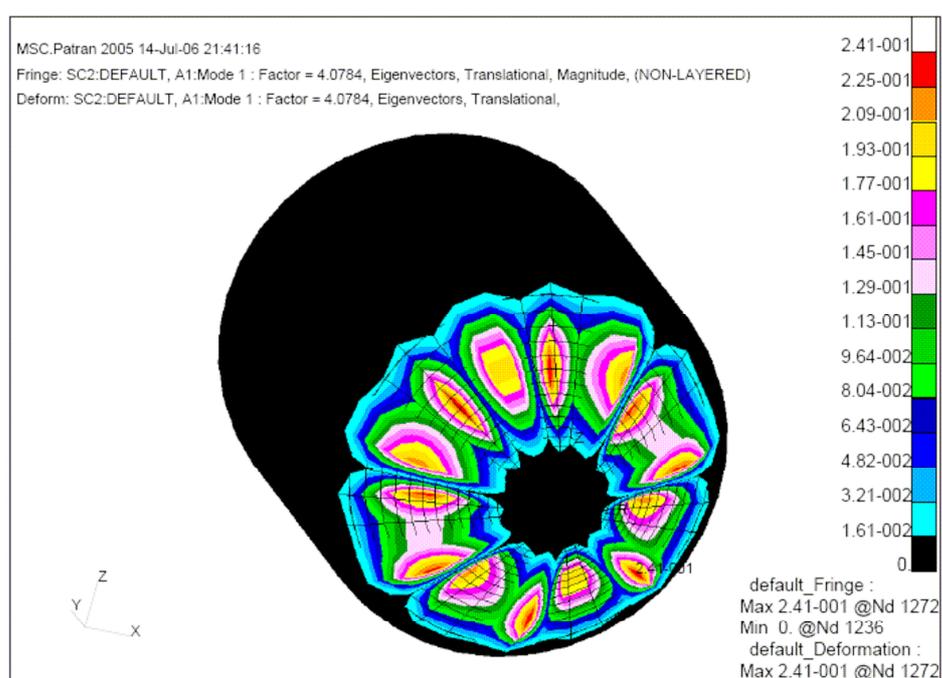


figura A10

Hipótesis II:

Modo 1:

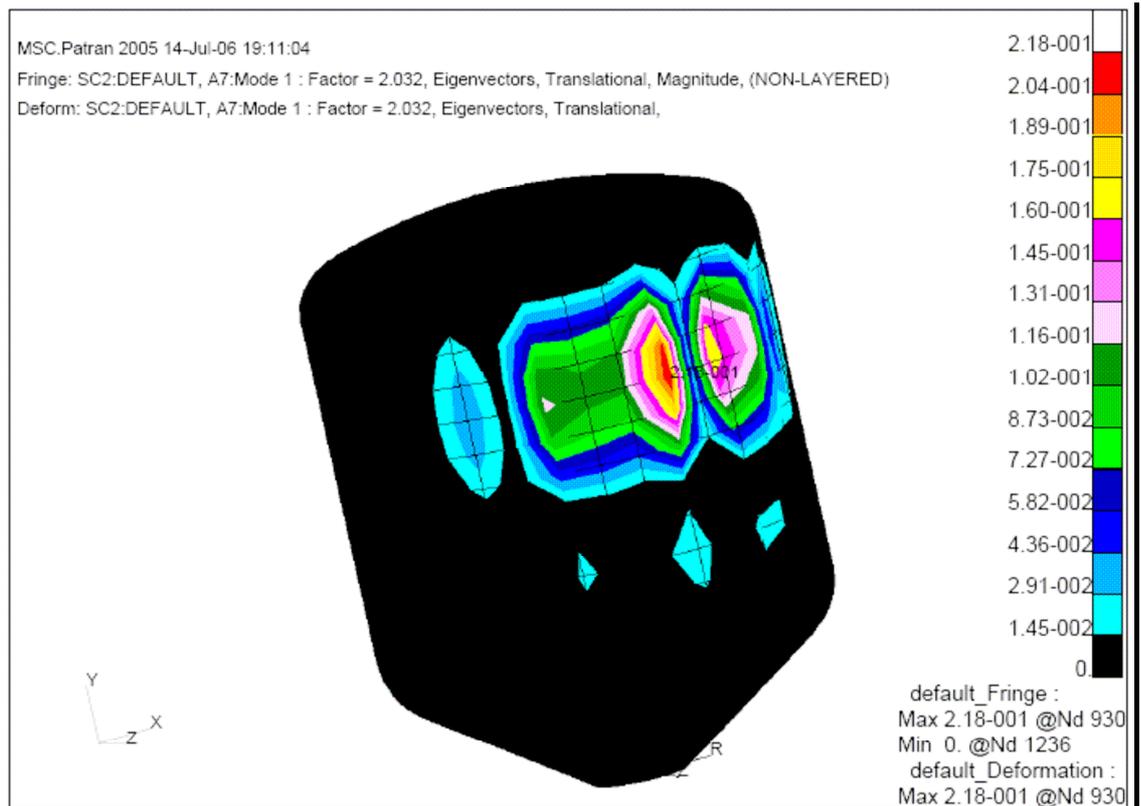


figura A11

Modo 6:

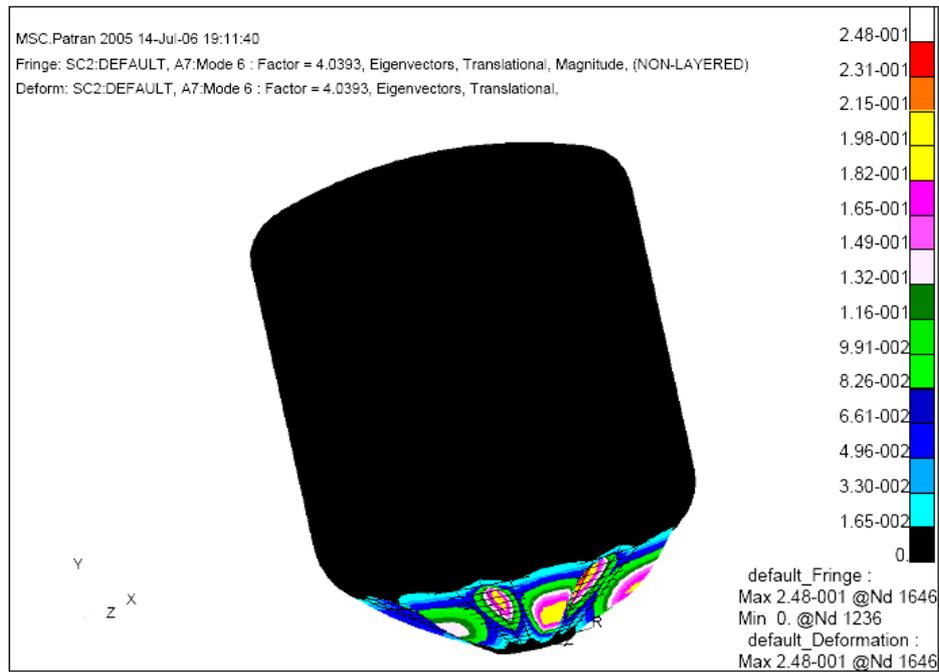


figura A12

Los modos intermedios no se introducen por se semejantes al primer modo.

6.- Conclusión

De los resultados obtenidos se concluye que ha sido más restrictiva la condición de pandeo impuesta, que el límite en el estado de tensiones. Lo que induce a pensar que si se añadieran rigidizadores se podría disminuir el espesor de la chapa de acero.

Tras probar con espesores de 10, 8 y 6 mm, el espesor de 8 mm es el que ha encajado con los dos criterios impuestos, y es el que se ha representado en los resultados.

El peso de la boya, con la chapa de acero de 8 mm, es de 8000 kg aproximadamente.