

Cálculo de patana especializada construida de PRFV.

J. García de la Figal*, O. Frías **.

* Instituto Superior Politécnico *Jose Antonio Echevarría* (CUJAE)

Dpto. de Mecanica Aplicada. Facultad de Ing. Mecanica

Calle # 127 s/n CUJAE. Marianao 15. Ciudad de la Habana

E-mail: jgarcia@mecanica.cujae.edu.cu

** Centro de Proyectos Navales. Ministerio de la Industria Pesquera.

(Publicado en Mayo de 2003).

Resumen

Se trata del cálculo de resistencia y rigidez de una patana especializada para el tratamiento de aguas residuales en la zona pantanosa de la Ciénaga de Zapata, Cuba, por lo que se recurre a materiales altamente duraderos y resistentes a la acción de un medio tan agresivo. Se trata de plásticos y fibra de vidrio. Por los altos pesos en la cubierta, su calculo no esta establecido en los Registros de Buques, haciéndose necesario el calculo completo de la patana con este material ortotrópico. Para ello se recurrió al Método de los Elementos Finitos, a través del empleo de un programa de computación. Se llega al diseño completo de las diferentes partes de la patana con este complejo material. Ya ha sido construida y está en operación.

Palabras claves: Elementos finitos, embarcaciones, tratamiento de aguas, PRFV.

1. Introducción.

En el presente reporte se explica el cálculo de una patana especializada construida de PRFV, y que es parte de un novedoso sistema de tratamiento de aguas residuales de un centro turístico del país. El trabajo fue desarrollado para el Centro de Proyectos Navales (CEPRONA), perteneciente al Ministerio de la Industria Pesquera (MIP) de Cuba.

Por las características de la patana, entre las que se encuentran los grandes pesos que soporta en su cubierta, esta embarcación no se encuentra en los tipos de naves recogidas por los diferentes Registros de Buques, por lo que fue necesario proceder a su cálculo. En la figura. 1 se muestra una vista general de la embarcación, donde pueden verse los 2 pesados tanques que soporta. Será ubicada en áreas de la Ciénaga de Zapata, anclada fuertemente y además de los grandes pesos mencionados, deberá ser capaz de soportar la acción de los fuertes vientos de un ciclón. En la figura 2 se muestran 2 vistas con las dimensiones de la misma. La complejidad de los cálculos está dada por las características ortotrópicas de los materiales que se emplean, siendo los mismos: resina poliéster isoftálica y vidrio E. Con ellos se construyen los laminados de las distintas partes de la patana, con distintas composiciones, según las necesidades de resistencia y

rigidez de las partes, para que cumplan con la mayor exactitud posible los requerimientos necesarios en cada lugar. Hay que tener en cuenta el costo de las láminas y laminados, por lo que en este cálculo se fue lo más preciso posible en la determinación de los laminados estrictamente necesarios en cada parte de la patana.

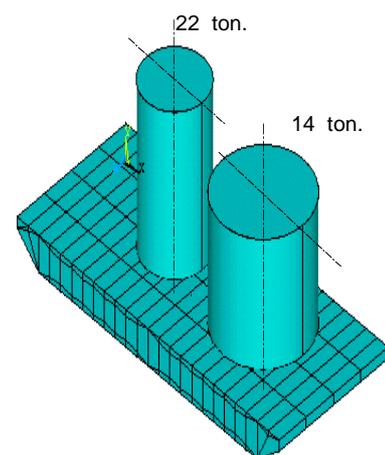


Figura 1 Patana PTR – 1.

Para la obtención de la variante definitiva de patana con sus laminados más adecuados, se realizaron numerosos modelos que fueron calculados sucesivamente, buscando por aproximaciones sucesivas la variante que con un consumo mínimo de materiales,

cumpliera con los requisitos necesarios para su funcionamiento. La variante aquí explicada se refiere sólo a esta última y definitiva variante, que es la propuesta final.

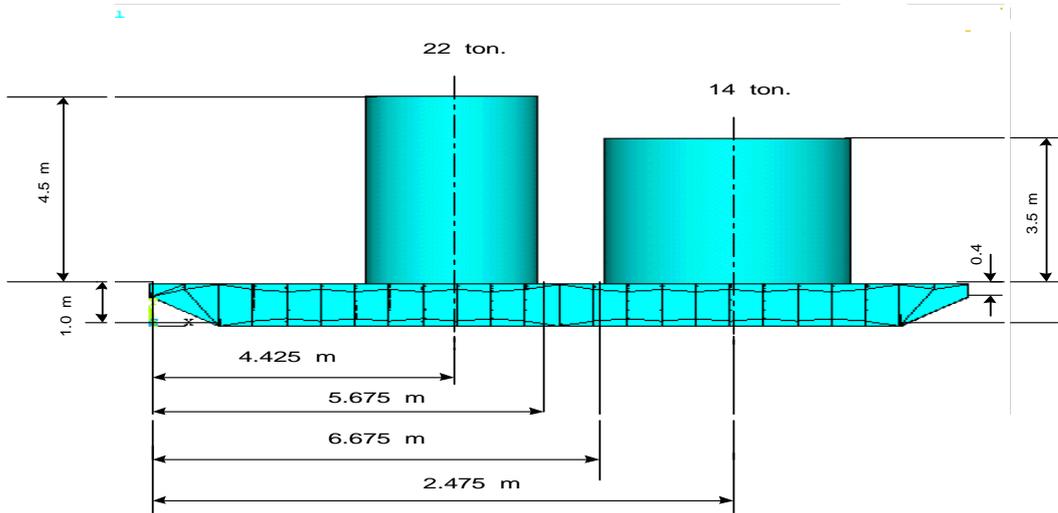


Figura 2 a.-Vista en elevación de la patana PTR - 1

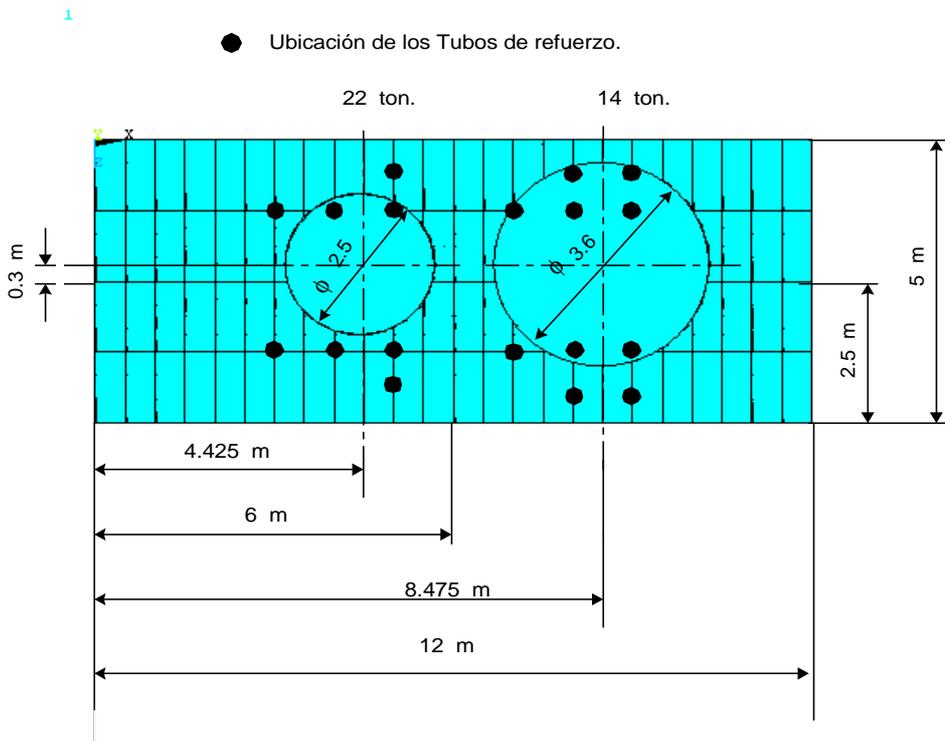


Figura 2 b.- Vista en planta de la patana PTR - 1.

2. El Modelo de elementos finitos.

El modelo de elementos finitos conformado para la realización de los cálculos, se hizo utilizando elementos de los tipo SHELL91 y SHELL 99, que sustentan la posibilidad de modelar laminados de materiales compuestos, de hasta 16 y 100 capas o láminas cada uno, respectivamente. Son elementos isoparamétricos con "shape functions" de tipo parabólicas, y con formulación basada en interpolación mixta. En las figuras. 3 y 4 se muestra el modelo elaborado para la realización de todos los cálculos o corridas llevados a cabo de todas las variantes. El modelo completo consta de 3364 elementos con 8720 nodos. La diferencia entre las distintas variantes de los modelos corridos, está en la composición de los laminados de sus distintas partes, siendo presentado en este trabajo solamente la variante final, como ya fuera apuntado.

En las figuras. 4 y 5 se muestran detalles del modelo elaborado para la realización de los cálculos. Fue empleado un programa profesional de cálculo que emplea el método de los elementos finitos.

Las láminas empleadas en conformar los laminados son las que se dan a continuación. También se brindan las propiedades empleadas, siendo la nomenclatura de las mismas la siguiente:

Materiales:

Vidrio E / poliéster.

X - límite de rotura a tracción longitudinal

X' - límite de rotura a compresión longitudinal.

Y - límite de rotura a tracción transversal.

Y' - límite de rotura a compresión longitudinal.

S - límite de rotura tangencial.

E₁ - módulo de elasticidad longitudinal.

E₂ - módulo de elasticidad transversal.

G₁₂ - módulo de elasticidad tangencial.

v₁₂ , v₂₁ - coeficientes de Poisson.

ρ - densidad del composite completo.

α₁, α₂ - coeficientes de dilatación lineal, en las direcciones longitudinal y transversal.

t_k - espesor de una lámina.

Mat 300

X = X' = 90 Mpa,

Y = Y' = 120 Mpa

S = 50 Mpa

ρ = 1.48 10⁻⁴ UTM/cm³

G₁₂ = 5268 Mpa

v₁₂ = v₂₁ = 0.3056

α₁ = α₂ = 22.83 10⁻⁶ /°C

W_f = 29 %,

V_f = 20 %

t_k = 1.1 mm,

E₁ = E₂ = 7877 Mpa.

WR 850:

X = X' = 170 Mpa

Y = Y' = 105 Mpa

S = 60 Mpa

E₁ = E₂ = 13 000 Mpa

G₁₂ = 2100 Mpa

v₁₂ = v₂₁ = 0.12

t_k = 1.35 mm, ρ = 1.6 10⁻⁶ UTM/ cm³

W_f = 45 %, V_f = 28 %.

Mat 450:

X = X' = 170 Mpa

Y = Y' = 105 Mpa

S = 60 Mpa

E₁ = E₂ = 13 000 Mpa

G₁₂ = 2100 Mpa

v₁₂ = v₂₁ = 0.12

t_k = 1.35 mm

ρ = 1.6 10⁻⁶ UTM/ cm³,

W_f = 45 %, ,

V_f = 28 %.

Como elementos de refuerzos necesarios fueron empleados tubos colocados en determinados puntos directamente debajo de los tanques para limitar los desplazamientos y esfuerzos en los laminados de PRFV. En la figura. 2 b se muestran los tubos de refuerzo en color negro. Las características de esos tubos son las siguientes.

- Diámetro exterior: 81 mm.
- Espesor: 4.1 mm.
- Material: Acero 20 (0,20% C)

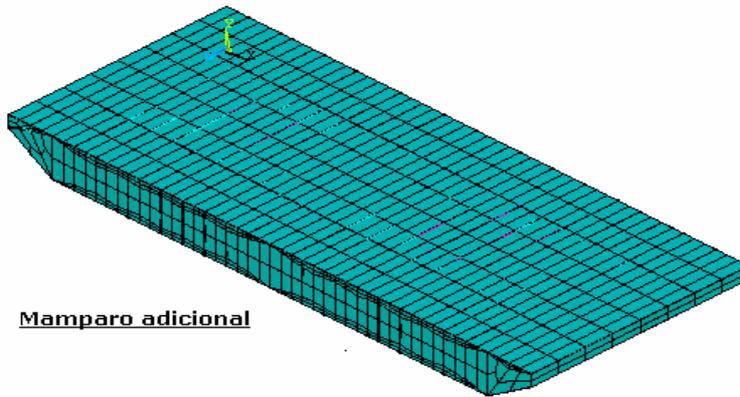


Figura 3.-Vista general del modelo de elementos finitos de la Patana PTR – 1.

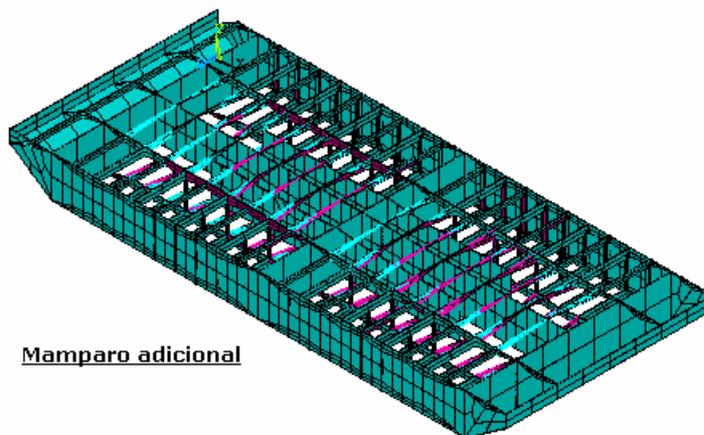


Figura 4. .- Reforzamientos (refuerzos, varengas, baos, esloras y mamparos), junto con los costados del modelo elaborado.

La composición final de los laminados con los que proponen construir la patana, en sus diferentes partes, se dan a continuación.

Laminado # 1. Consta de 8 láminas con la siguiente composición:

[Mat300 / Mat300 / WR850 / Mat300 / WR850 / Mat300 / WR850 / Mat300]

Laminado # 2. Consta de 16 láminas (figura 5), con la siguiente composición:

[Mat400 / Mat400 / WR850 / Mat400 / WR850 / Mat400 / WR850 / Mat400]

Laminado # 3. Consta de 12 láminas con la siguiente composición:

[Mat300 / Mat300 / WR850 / Mat300]

Laminado # 4. Consta de 14 láminas (figura 6), con la siguiente composición:

[Mat300 / Mat300 / WR850 / Mat300].

Laminado # 5. Consta de 20 láminas con la siguiente composición:

[Mat400 / Mat400 / WR850 / Mat400].

Laminado # 6. Que consta de 24 láminas con la composición:

[Mat400 / Mat400 / WR850 / Mat400].

Finalmente la ubicación de los tubos de refuerzos fueron localizados en las posiciones que se observan en la vista en planta de la figura 2 b donde se muestran en forma de fuertes puntos negros. De este modo quedan completamente definidos los laminados y la composición de todas las partes componentes de la patana.

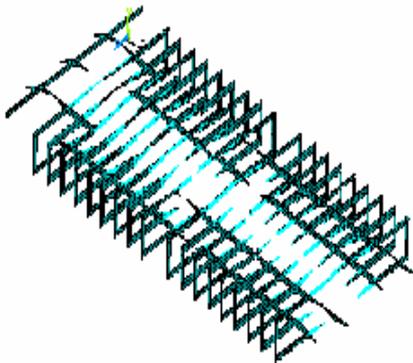


Figura 5.-Partes con el laminado # 2.

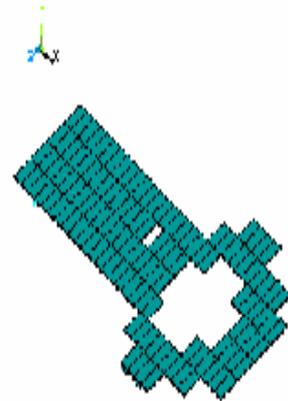


Figura 6 .-Partes con el laminado # 5.

3. Las cargas.

- Las cargas a las que se sometió el modelo para realizar las corridas del programa, fueron:
- El peso propio de los tanques.
- La acción de un ciclón con una presión de $q=1300 \text{ N/ m}^2$.
- La acción flotadora de la presión del agua sobre la que descansa.

En La figura. 7 se muestra la acción de las 2 primeras cargas mencionadas.

Todas se consideran actuando a la vez, en un único caso o condición de carga. La patana se encuentra arriestrada a “tierra”, con el sistema de cargas que se encuentra representado en la figura. 7.

$$F = 43\ 700 \text{ N}$$

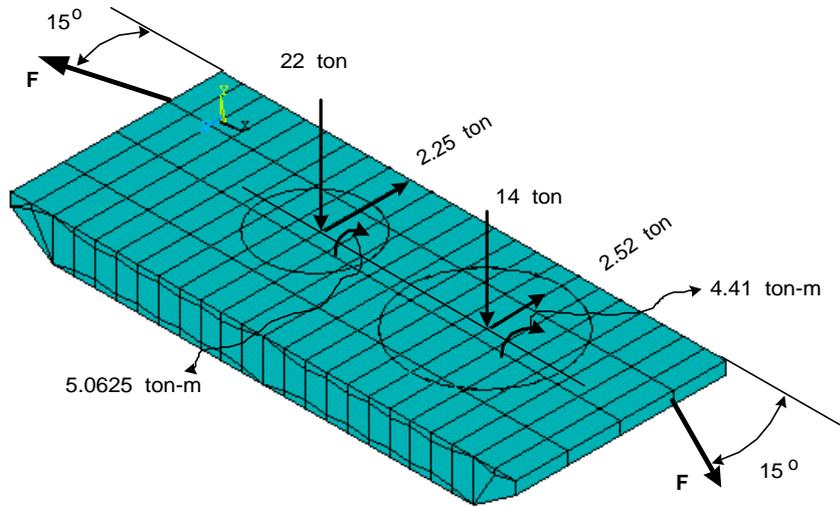


Figura 7.-Cargas sobre la patana.(En la figura no esta representada la presión del agua).

4. Análisis de los resultados.

Con las cargas señaladas se llevaron a cabo las diferentes corridas del programa de modo que obtuviera todos los parámetros resultantes de la acción de las cargas. De los muchos resultados obtenidos, a continuación se exponen los de más interés para el modelo definitivo aquí explicado.

Los desplazamientos de los distintos nodos de los elementos que constituyen el modelo se muestran en las figuras 8 y 9. De las figuras mencionadas puede observarse el valor máximo de deformación de 0.012927 m (12.927 mm) en la cubierta, directamente debajo del tanque más pesado de 22 ton. (el de la izquierda de la figura. 1).

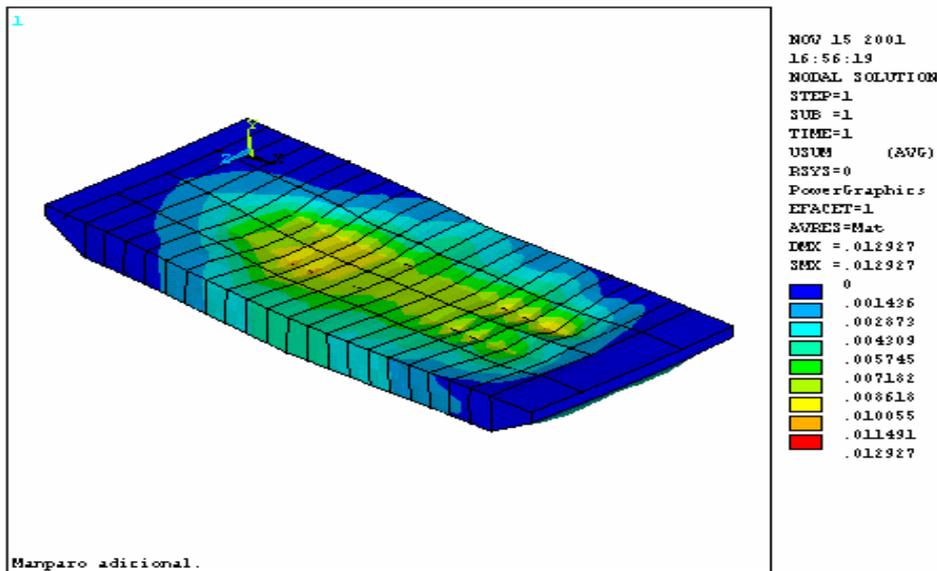


Figura 8 .- Desplazamientos en los nodos del modelo [m].

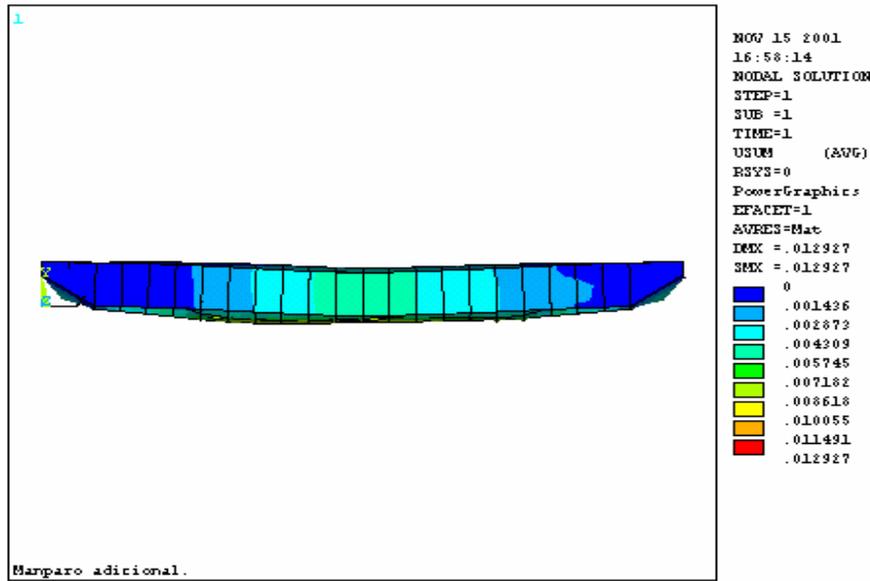


Figura 9.-Desplazamientos de los nodos del modelo [m].

En la figura 10 se muestran los coeficientes de seguridad SR mínimos obtenidos de las corridas, los que coinciden en localizarse en la cubierta, inmediatamente debajo del tanque más pesado. Todas las demás partes de la patana tienen coeficientes de seguridad SR > 4.5. Este es el valor mínimo establecido por el *Registro Italiano de embarcaciones de alta velocidad*, para partes de la embarcación, si se consideran en los cálculos las cargas máximas actuantes, tal como se ha hecho en este trabajo. En la Tabla 1 se dan los coeficientes SR de algunos elementos finitos del modelo. En la Tabla 2 son

brindados los esfuerzos actuantes en algunos de los elementos finitos, a partir de los cuales el programa calcula los SR, por medio del criterio de resistencia de Tsai – Wu [2]. Los SR mínimos obtenidos (figura. 10), están en efecto por debajo del mínimo recomendado, siendo el menor de todos de 3.166. Hay que tener en cuenta sin embargo, que ocurren en una zona muy específica, caracterizada por poseer un doble fondo, dado por el fondo adicional del tanque de 22 ton que no está considerado en este modelo. Esto permite adelantar que aunque pequeños, estos valores de SR pueden ser admitidos.

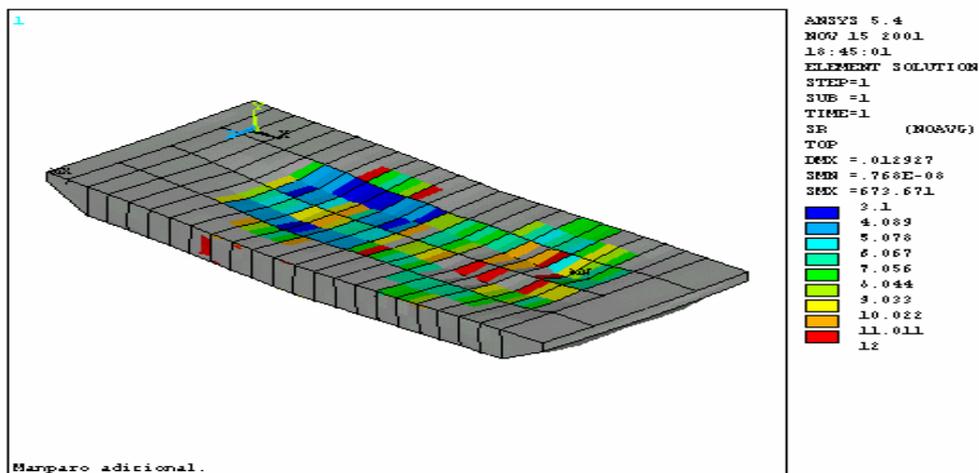


Figura 10 .-Coeficientes de Seguridad SR, mínimos.

Tabla 1. Valores mínimos del coeficiente de seguridad, SR

Elemento	Sr
569	3.1663
570	6.4209
571	3.9032
572	10.834
573	9.0956
616	7.6024
617	6.1165

Tabla 2. Esfuerzos normales máximos de los laminados [Mpa]

ELEMENTO	SXX	SY Y	SZZ
561	-.17419E-03	.60787	-.17423E-03
562	.15689E-03	.49908	.15686E-03
563	-.17871E-03	.50692	-.17871E-03
569	.14613E-03	.72739	.14588E-03
578	.16360E-03	.47036	.16363E-03
579	.17422E-03	.47607	.17424E-03
580	.17894E-03	.62077	.17902E-03

5. Conclusiones.

- De las figuras 8 y 9, puede observarse lo adecuado de las selecciones de laminados para las partes de la patana desde el punto de vista de la rigidez. Los desplazamientos máximos ocurren en una zona muy específica (en la cubierta debajo del tanque más pesado) y sus valores máximos de 12.927 mm son adecuados.
- Desde el punto de vista de la resistencia, se observa que en esa misma zona ocurren esfuerzos algo elevados, dado que los coeficientes de seguridad SR toman valores por debajo del mínimo recomendado de 4.5. Se decide aceptarlos porque en primer lugar, nunca llega a romperse ningún laminado de esa zona, toda vez que el $SR^{\min} = 3.166$ es mayor que la unidad. Debe recordarse que el criterio de resistencia considerado, el de Tsai – Wu, es el más preciso y amplio de todos. En segundo lugar, en ningún momento se consideraron los fondos de los tanques en los cálculos realizados, los cuales le

brindan una mayor rigidez a las zonas de apoyos, aliviando en alguna magnitud los esfuerzos reales que allí ocurren.

- Respecto a los tubos fueron muy pequeños los desplazamientos calculados, con valor máximo de 0.007693 m (7.693 mm) mientras que el esfuerzo máximo a compresión, que ocurre en el elemento 3194, es de $\sigma = 130.13$ [MPa], es decir, 130.13 [MPa] \ll 240 [MPa] donde $\sigma_{\max} \ll [\sigma]$ con un amplio coeficiente de seguridad de: $240 / 130.13 = 1.844$. Se observa entonces lo adecuado de los laminados seleccionados y de los tubos, para la correcta construcción de la patana especializada.

6. Bibliografía.

- Álvarez, V. “Los Elementos Finitos Aplicados a la Técnica”. ENSPES. La Habana, 1990.
- García de la Figal, J. “El Cálculo de Materiales Compuestos”. Fac. Ing. Mec.Habana, 2001.
- García de la Figal, J. “Modelación con programas profesionales de elementos finitos”. Fac. Ing. Mecánica. La Habana, 2001.
- Kaw, A. “Mechanics of Composite Materials”. CRC, New York. 1997.
- Michaeli, W., et al. “Tecnología de los Composites/ Plásticos reforzados”. Hanser Editorial, Barcelona, España. 1989.
- Miller, Edward. “Introduction to Plastics and Composites”.
- Miravete, A. et al. “Cálculo y Diseño de estructuras de materiales compuestos de fibras de vidrio”. Secretaría de Publicaciones. Universidad de Zaragoza. España. 1993.
- Registro Naval Italiano. Reglas para la Construcción y Clasificación de Naves de alta velocidad. Roma. Italia. 1995.

Calculation of specialized shalow water vessels designed and manufactured with PRFV.

Abstract

This paper deals with the calculations of resistance and rigidity of a specialized shalow water vessel for the treatment of waste waters. It will be located in the marshy area of Cienaga de Zapata, Cuba, for this reason highly durable and resistant materials to the action of such aggressive environment are used. We are dealing with plastics and glass fiber due to the high weight in the cover the calculation is not established by Ships Registrations and therefore became necessary to carried out the complete vessel calculation with this orthotropic material. It was necessary applied the Finite Elements Method by means of a computation program. We arrived to the complete design of different parts of the vessel with this complex material. It has already been built and it is in operation.

Key words: Finite element, vessel, water treatment, PRFV.