

# Calculo de tanque de PRFV de 200 000 litros de capacidad.

**J. García de la Figal Costales.\*, O. Frías\*\***

\*Instituto Superior Politécnico *José A. Echeverría* (ISPJAE).  
Facultad de Ingeniería Mecánica. Dpto. Mecánica Aplicada.  
Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad Habana, Cuba.  
Teléfono: 53 7-260 2267, Fax: 53 7-267 7129.

E-mail: [Jfigal@mecanica.ispjae.edu.cu](mailto:Jfigal@mecanica.ispjae.edu.cu).

\*\* Centro de Proyectos Navales (CEPRONA), Ministerio de la Industria Pesquera.

(Recibido el 10 de noviembre del 2001, aceptado el 5 de diciembre del 2001).

## Resumen

La tarea que se acomete es el cálculo a resistencia y rigidez de un tanque para el almacenamiento de agua, de 200 000 litros de capacidad, construido de plástico reforzado con fibras de vidrio, PRFV. El mismo es cilíndrico vertical, de 8 metros de diámetro por 4.2 metros de altura. Los materiales seleccionados para la conformación de las láminas con las que se harán los laminados de PRFV, fueron: resina poliéster isosfáltica, y fibras de vidrio E.

La carga fundamental a soportar por el tanque será la presión debida a la columna de agua en su interior, pero por estar a la intemperie y en zona de playa, se considerará también la acción de las dilataciones debidas a la temperatura, así como la acción de un ciclón.

**Palabras claves:** resistencia, recipiente, composites, elementos finitos.

## 1. Introducción.

En la actualidad es creciente el empleo de los materiales compuestos, específicamente los plásticos reforzados con fibras de vidrio PRFV, en la construcción de tanques para los más diversos usos. Los mismos poseen grandes complicaciones en sus cálculos, dadas las características isotrópicas de sus propiedades, lo que es posiblemente una de las causas de su tardía introducción en Cuba. En el presente trabajo se acomete el cálculo de un tanque cilíndrico vertical de 200 000 litros de agua, para una edificación turística.

Se hace uso de un programa de computación por elementos finitos para realizar el modelo del tanque y sus correspondientes cálculos, el cual posee la capacidad de trabajar con materiales ortotrópicos, como los PRFV. El objetivo es determinar la composición y espesores de las paredes del tanque, es decir de los laminados, capaces de soportar todas las cargas actuantes sobre el mismo, con el adecuado coeficiente de seguridad (SR). El cálculo se hace por tanteos sucesivos, asumiendo una composición y espesores dados para los laminados, corriendo el programa con ellos, y determinando los coeficientes de seguridad en las distintas partes del tanque. Si los valores de SR no se

ajustan a lo recomendado, se varían la composición y los espesores. Estos serán variables en función de la altura del tanque a la cual pertenezcan. Este proceso hubo de ser realizado en numerosas ocasiones, pero todo lo expuesto a continuación se refiere tan sólo a la variante de composición y espesores con los que se obtuvieron los resultados deseados.

## 2. El modelo de Elementos Finitos.

El modelo de elementos finitos conformado para la realización de los cálculos, se hizo utilizando elementos tipo SHELL 99, que sustenta la posibilidad de modelar laminados de materiales compuestos, de hasta 100 capas o láminas. Es un elemento isoparámetro rectangular de 8 nodos, con "shape functions" de 2<sup>o</sup> grado. En la Fig. 2 se muestra el modelo elaborado y que sirviera para la realización de todos los cálculos realizados. En la Fig 1, se da el panel básico empleado en la elaboración del modelo. El modelo completo consta de 1680 elementos con 5136 nodos.

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

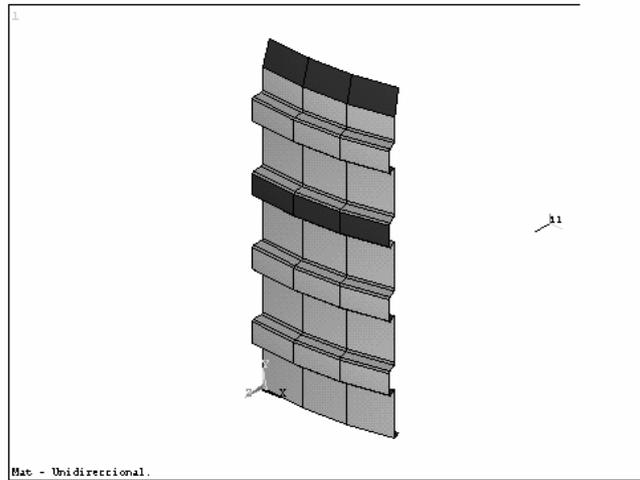


Fig. 1.- Panel básico del tanque.

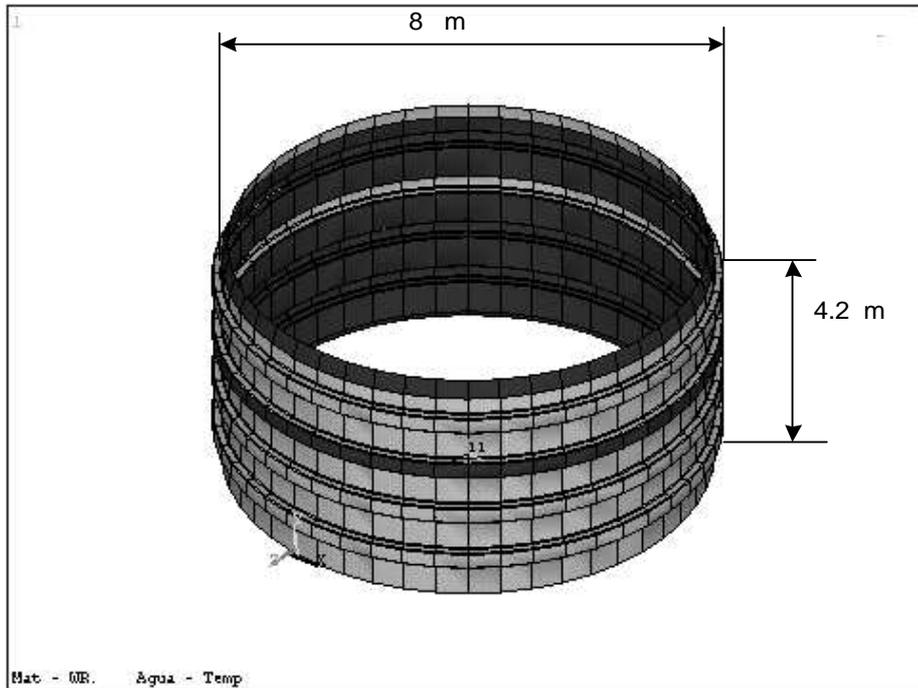


Fig. 2.- Modelo del tanque.

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.

E<sub>1</sub> - módulo de elasticidad longitudinal.

E<sub>2</sub> - módulo de elasticidad transversal.

G<sub>12</sub> - módulo de elasticidad tangencial.

$\nu_{12}$ ,  $\nu_{21}$  - coeficientes de Poisson.

$\rho$  - densidad del composite completo.

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - coeficientes de dilatación lineal, en las direcciones longitudinal y transversal.

Mat 300 y Mat 450:

X = X' = 90 MPa, Y = Y' = 120 MPa, S = 50 MPa

$\rho = 1.48 \cdot 10^{-4}$  UTM/cm<sup>3</sup>.

G<sub>12</sub> = 5268 MPa

$\nu_{12} = \nu_{21} = 0.3056$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 22.83 \cdot 10^{-6}$  /°C

$W_f = 29 \%$ ,  $V_f = 20 \%$   $t_k = 1.1 \text{ mm}$   
 $E_1 = E_2 = 7877 \text{ MPa}$ .  
 WR 850:  $X = X' = 170 \text{ MPa}$ ,  $Y = Y' = 105 \text{ MPa}$ ,  $S = 60 \text{ MPa}$ .  
 $E_1 = E_2 = 13\,000 \text{ MPa}$ ,  $G_{12} = 2100 \text{ MPa}$   
 $\nu_{12} = \nu_{21} = 0.12$ ,  $t_k = 1.35 \text{ mm}$   
 $\rho = 1.6 \cdot 10^{-6} \text{ UTM/cm}^3$ ,  $W_f = 45 \%$ ,  $V_f = 28 \%$

Fueron empleados 3 tipos de laminados distintos, en dependencia de la altura del tanque a que se encontraban.

Hasta una altura de 72 cm, medida desde el suelo, se empleó la siguiente composición de laminado:

20 láminas o capas con la siguiente distribución:

[ M450/M300/ WR / M300 /WR / M300 / WR / M300 ]

Espesor del laminado:  $h = 24.25 \text{ mm}$

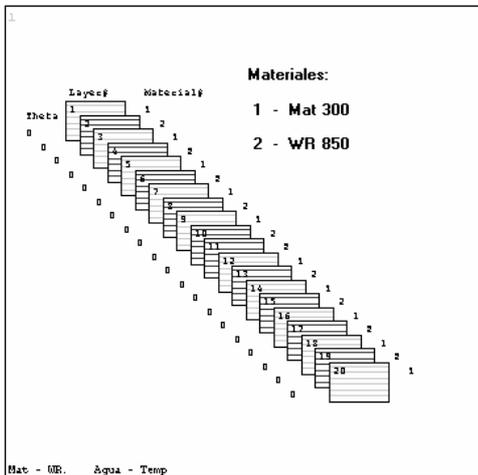


Fig. 3.- Laminado de 20 láminas.

Desde la altura de 72 cm, hasta la de 272 cm, 16 láminas con la distribución:

[ M450/M300/ WR / M300 /WR / M300 / WR / M300 ]

Espesor del laminado:  $h = 20.7 \text{ mm}$

Desde la altura de 272 cm hasta los 420 cm, 10 láminas, distribuidas:

[ M450/M300/ WR / M300 /WR / M300 / WR / M300 / WR / M300 / WR / M300 ]

Espesor del laminado:  $h = 10 \text{ mm}$ .

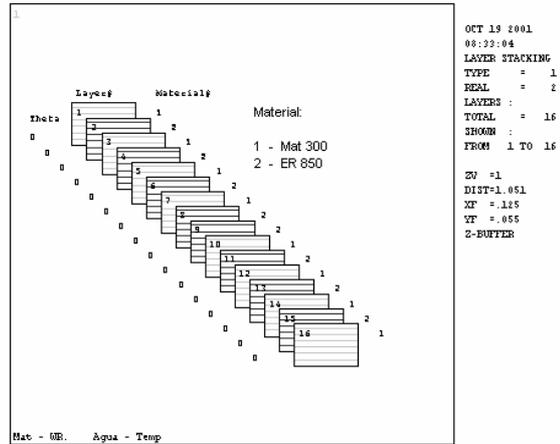


Fig. 4.- Laminados de 16 láminas.

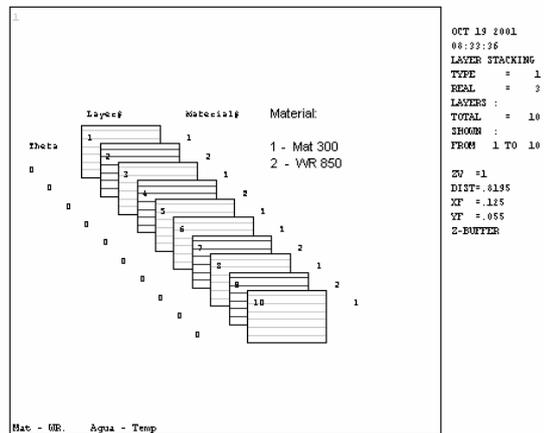


Fig. 5.- Laminado de 10 láminas.

### 3. Resultados de los cálculos.

Se realizaron 3 tipos de cargas o acciones externas sobre el tanque.

La columna de agua,  $\rho = 1 \text{ Kg. / dm}^3$  que brinda una presión máxima en el fondo del tanque de  $p = 0.042 \text{ MPa}$ .

La columna de agua más la acción de un ciclón, con una presión horizontal de éste de  $p = 0.003 \text{ MPa}$ .

La columna de agua, más la acción de los incrementos de temperatura. Se consideró una diferencia de temperatura entre las paredes externas e internas del tanque de:  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  en la pared externa y  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  en la interna.

Con todas esas variantes de cargas colocadas sobre el modelo, se procedió a resolverlo por medio del programa de cómputo. Esto se hizo 3 veces, correspondiente a cada uno de los casos de carga anteriores.

En la tabla 1 se muestran los coeficientes de seguridad (SR) mínimos, obtenidos de los cálculos, para las 3 condiciones de carga, que son los de interés, por ser precisamente los menores y por tanto los más peligrosos obtenidos. En la Fig. 6 se muestra la distribución de esos coeficientes (es decir SR), en el tanque en forma de un ploteo según una escala de valores, para la sollicitación más peligrosa, la que según los valores de SR de la Tabla 1, es el 3<sup>er</sup> caso de carga analizado, es

decir la acción conjunta del agua junto con un incremento de temperatura de 10 ° C.

En la Fig. 7 se dan los desplazamientos radiales  $U_r$  de cada uno de los nodos del modelo, en todo el tanque.

En la Tabla 2 se muestran los esfuerzos en algunos de los elementos, obtenidos de las corridas del programa, con los cuales se calcularon por el programa los SR de la Tabla 1, aplicando el criterio de resistencia de Tsai – Wu.

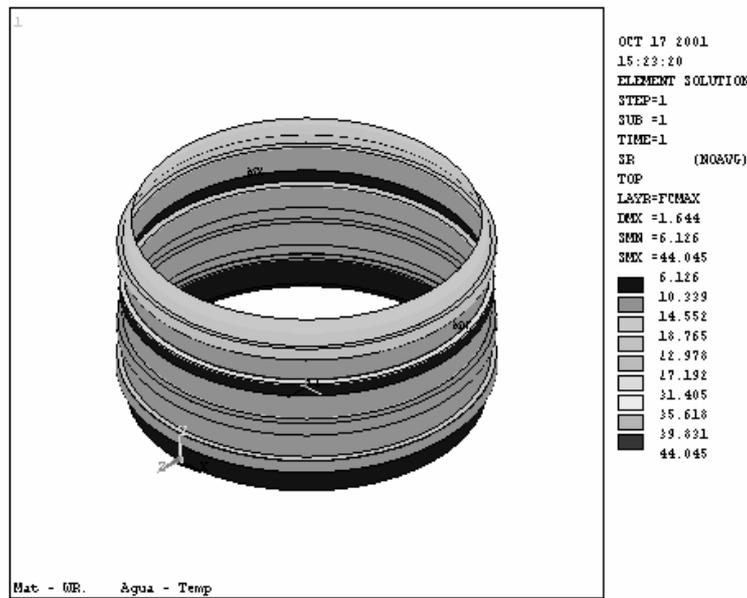


Fig. 6 - Strength Ratio (SR)

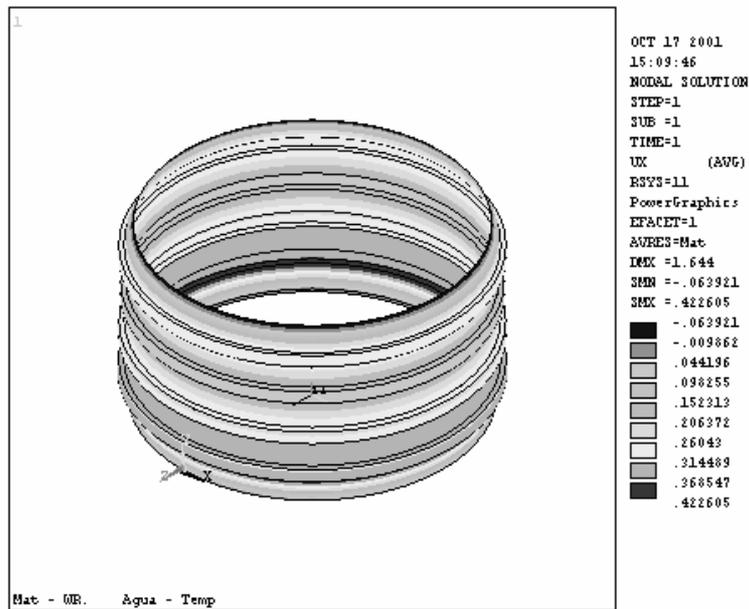


Fig. 7 - Distribución de los desplazamientos radiales  $U_r$  [cm].

**Tabla 1.-** SR mínimos.

Carga: Agua.

MINIMUM VALUES	
ELEM:	800
SR:	8,670019

Carga: Agua – Temperatura.

MINIMUM VALUES	
ELEM	809
SR	6.12

Carga: Agua – Ciclón.

MINIMUM VALUES	
ELEM:	1010
VALUE:	8.40

Otros resultados importantes obtenidos de los cálculos realizados, son los siguientes.

- Peso total de todo el tanque; 12 730 N
- Fuerza radial total en la base del tanque: 172 760 N
- Fuerza radial por tornillo de la base del tanque, considerando un tornillo cada 51 cm de circunferencia: 3900 N.
- Fuerza máximo en la unión de los paneles del tanque (fuerza circunferencial): 15 000 N.

**Tabla 2.-**Esfuerzos en algunos elementos del tanque, sistema coordinado Global Cartesiano. Cargas: Agua.

PRINT S ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT

\*\*\*\*\* POST1 ELEMENT NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1  
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0  
 SHELL RESULTS ARE FOR TOP/BOTTOM

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN LAYER FCMAX COORDINATES

ELEMENT = 1 FCMAX = 14

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
2	13.793	10.292	.00000	-.32120E-01	.00000	.00000
1	16.620	40.089	.00000	-.19463E-01	.00000	.00000
6	16.616	40.077	.00000	.21195E-01	.00000	.00000
13	13.794	10.295	.00000	.30442E-01	.00000	.00000
2	11.362	9.5515	-.81606E-02	-.30700E-01	-.51387E-02	.18648
1	14.669	39.502	-.81606E-02	-.23585E-01	-.34905E-02	-.21244
6	14.666	39.490	-.81606E-02	.24893E-01	.34333E-02	-.21241
13	11.363	9.5550	-.81606E-02	.29401E-01	.52216E-02	.18647

ELEMENT = 2 FCMAX = 14

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
13	13.792	10.291	.00000	-.30804E-01	.00000	.00000
6	16.620	40.091	.00000	-.18119E-01	.00000	.00000
8	16.617	40.080	.00000	.22158E-01	.00000	.00000
15	13.792	10.295	.00000	.31492E-01	.00000	.00000
13	11.361	9.5509	-.81606E-02	-.29627E-01	-.51108E-02	.18646

#### 4. Conclusiones.

De la Tabla 1 se observa lo adecuado de los coeficientes de seguridad (SR) mínimos obtenidos en los laminados de la pared del tanque, con la composición y espesores arriba explicados. Puede observarse como todos son mayores de SR > 6, como establece la literatura. En esa Tabla sólo se han puesto

los SR mínimos, lo que implica que todos los SR de los restantes elementos fueron mayores, es decir que tienen una seguridad mayor. Los valores mínimos de SR ocurren en la parte inferior del tanque, como era de esperarse, según puede verse en la Fig. 6.

De esa Tabla 1 puede verse también como la condición de carga que brinda los menores SR, es la 3ª,

es decir, cuando actúan la presión del agua en conjunto con la subida de la temperatura ambiente hasta un valor de 40<sup>o</sup> C. Los desplazamientos radiales de los distintos puntos del tanque son pequeños, como se aprecia en la Fig. 7, del orden de sólo 0.46 cm. Puede verse que los mayores desplazamientos ocurren en la parte inferior del tanque.

De todo lo expuesto puede concluirse entonces, lo adecuado de las 3 composiciones y espesores de los laminados seleccionados (en dependencia de la altura), y que sirvieran para los cálculos aquí expuestos, y la construcción del tanque propuesto.

## 5. Bibliografía.

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

---

## 200 000 liters capacity PRFV tank calculation.

### Abstract.

The stress and strains calculation of a water *reinforced fiber glass* container is carried out by means of a modern *Finite Element* program, because the high complexity of calculus. The supported main load is the pressure caused by the column of water.

**Key words:** Resistance, vessels, composites, finite elements.