

# **ENSAYO Y VALIDACIÓN DE TANQUES ESFÉRICOS DE ALUMINIO PARA SISTEMAS DEL TIPO PRESS-FED**

**L. Mundo<sup>a</sup>, D. Lunardelli<sup>a</sup>, A. Patanella<sup>a</sup>, M. Actis<sup>a</sup>**

*luis.mundo@ing.unlp.edu.ar, dlunardelli@ing.unlp.edu.ar, ajpatane@ing.unlp.edu.ar, mactis@ing.unlp.edu.ar*

<sup>a</sup>CTA – Centro Tecnológico Aeroespacial, Universidad Nacional de La Plata Calle 116 e/47 y 48 (1900) La Plata, Argentina. <http://www.cta.ing.unlp.edu.ar>

## **RESUMEN**

Los tanques esféricos son muy utilizados en la industria aeroespacial por su ser la forma geométrica más liviana capaz de soportar presión interna, dado a que las tensiones se distribuyen uniformemente en todo su espesor. El objetivo del trabajo es presentar el ensayo estructural realizado a un tanque esférico para utilización en un vehículo lanzador. El ensayo consistió en la aplicación progresiva de presión interna y la adquisición de dicha magnitud, así como la deformación en determinados puntos clave por medio de strain gages hasta la rotura del mismo. Estas deformaciones se utilizaron como parámetros de validación de los modelos de elementos finitos utilizados para el diseño del mismo. Se presenta análisis de resultados y conclusiones.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La motivación para este desarrollo era el diseño de un tanque esférico que soportara una presión de trabajo de entre 30 y 40 bares con el menor peso posible. A partir de ello se diseñó un tanque de aluminio de 8 mm en aluminio 6061 T6 soldado por fusión y tratado térmicamente para volver a su estado de temple. Este tanque con un diámetro de 1250 mm pesa unos 132 kg. También se diseñó un soporte de manera q el tanque solamente queda agarrado de la sujeción diseñada para tal fin. Teniendo en cuenta que la esfera es la mejor forma geométrica para soportar presión pero al agregar cualquier sujeción o brida de llenado/vaciado se comienzan a generar concentradores de tensiones que hacen perder la ventaja de la forma esférica. En particular este tanque fue diseñado con un sistema de sujeción tal que minimiza los efectos de

la misma permitiendo una libre expansión del tanque. [1]

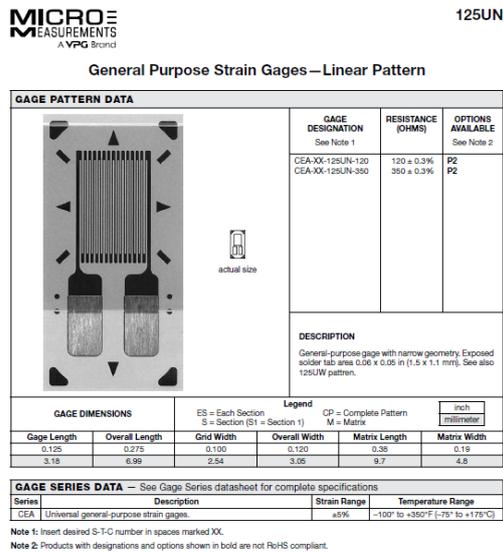


**Figura 1.** Tanque esférico.

## **2. DESARROLLO**

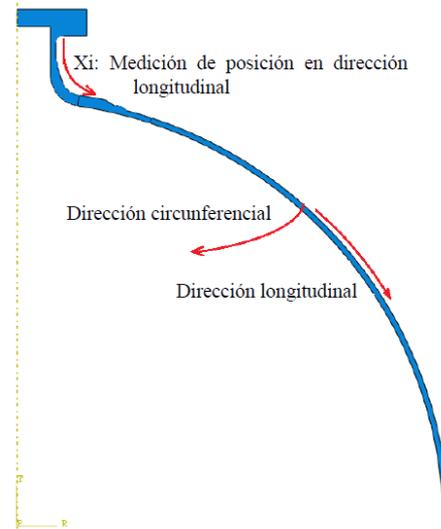
### **2.1 Instrumentación**

Se utilizaron 16 strain gages del tipo CEA-12-125UN-350 (ver Figura 2) de la firma *Micro-Measurements* [2] con el objetivo de relevar las deformaciones en distintos puntos. SE utilizó un sensor de presión de 200 bares para la medición la evolución de la presión en el transcurso del ensayo. Y todos los parámetros se adquirieron mediante un sistema *SCXI* de la firma *National Instruments*.



**Figura 2.** Características técnicas de los strain gages utilizados.

A partir del análisis estructural del tanque se eligieron los puntos de instrumentación y la dirección de lectura de las deformaciones. Estas ubicaciones nos permitirán relevar los datos experimentales a fin de poder validar el modelo numérico utilizado durante la etapa de diseño. Los puntos elegidos se pueden ver en la siguiente figura. La coordenada de referencia está tomada en dirección de la piel del tanque y con origen en la brida.



Strain Gage	Xi [mm]	Disposición
0	70	Longitudinal
1	100	Longitudinal
2	160	Longitudinal
3	160	Circunferencial
4	280	Longitudinal
5	470	Longitudinal
6	510	Longitudinal
7	510	Circunferencial
8	730	Longitudinal
9	730	Longitudinal
10	730	Circunferencial
11	965	Longitudinal
12	1220	Longitudinal
13	1220	Circunferencial
14	1220	Longitudinal
15	490	Circunferencial

**Figura 3.** Posición y dirección de los strain gages

En cada estación se colocaron los strain gages utilizando pegamento del tipo cianocrilato y se cablearon usando tres hilos a fin de poder compensar la resistencia eléctrica del cable. Se puede ver en las siguientes figuras detalles de algunas de las estaciones de medición sobre el tanque.



Figura 4. Strain Gages colocados sobre el tanque.

## 2.2 Ensayo

Se aplicó progresivamente la presión mediante una bomba hidráulica a una tasa de aproximadamente unos 4 bares por minuto hasta llegar a los 60 bares y posteriormente se mantuvo ese nivel de presión por al menos 15 minutos. El tanque fue llenado previamente con agua para minimizar el efecto de la descompresión en caso de rotura. La curva de aplicación de presión puede verse en la Figura 5. Se realizó una adquisición continua durante

todo el proceso de aplicación de la presión.

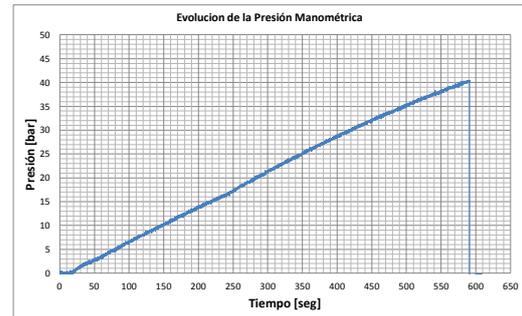


Figura 5. Evolución de la presión.

## 2.3 Resultados

Al llegar a los 40 bares se produjo la rotura prematura del tanque atribuida inicialmente a un poro o inclusión en la soldadura que no fue detectado con la inspección de rayos X realizada al 100% de las soldaduras por la posición en que esta se encontraba. A continuación se puede apreciar la falla mencionada.

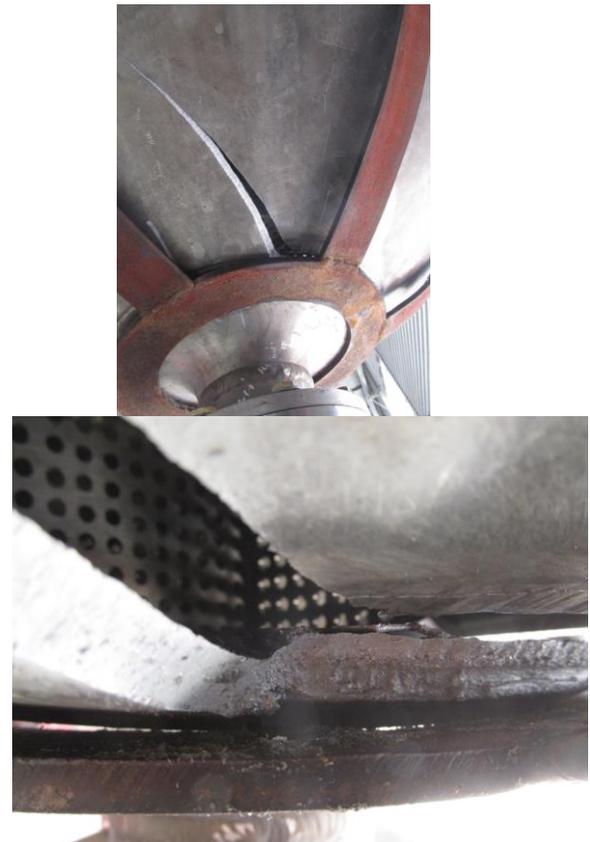


Figura 6. Rotura en soldadura de brida inferior.

Los resultados de obtenidos en el ensayo se compararon con los obtenidos en el modelo de elementos finitos realizado.

A continuación se presentan los gráficos de deformaciones específicas vs. presión tanto de ensayo como de modelado para los strain gages 0, 2, 3 y 4 a modo de comparación [3].

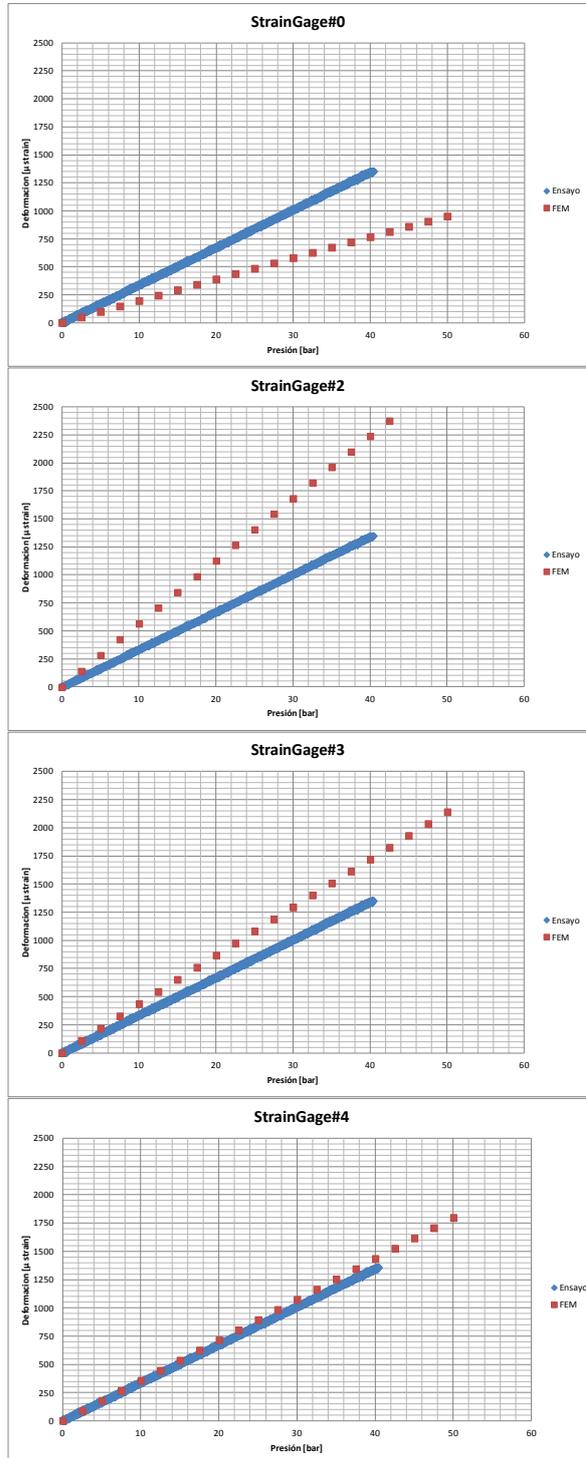


Figura 7. Comparación de resultados experimentales y numéricos

## 2.4 Conclusiones

- Se logró realizar el ensayo de presión sobre el tanque adquiriendo la presión interna y

las deformaciones en distintos puntos del mismo.

- Se observó la rotura del mismo al llegar a 40 bares.
- Se observó linealidad en las deformaciones adquiridas por los strain gages hasta el valor de rotura.
- Se realizó la comparación de las deformaciones obtenidas en el ensayo con las obtenidas en el modelo de elementos finitos.
- Se observa que los valores obtenidos por el modelo FEM son menores a los de ensayo en la zona del cuello de la brida (Strain Gage #0).
- Se observa que los valores obtenidos por el modelo FEM son mayores a los obtenidos en el ensayo en la zona de la soldadura opuesta a la que falló. Lo cual arroja un valor conservativo de tensiones en la zona (Strain Gage #2 73% mayor, Strain Gage #3 35% mayor).
- Se observa que los valores obtenidos en la zona esférica lejana a las soldaduras el modelo FEM arroja valores similares a los de ensayo (Strain Gage #4 FEM 7% mayor)

El tanque fue reparado y se ensayará nuevamente para poder investigar y analizar las diferencias encontradas en el primer ensayo.

## 3. REFERENCIAS

- [1] Diseño de tanques esféricos de aluminio para sistemas tipo PRESS-FED, L. Mundo, A. Patanella, M. Actis, Noveno Congreso Argentino de Tecnología Espacial (CATE), 26-29 Abril de 2017
- [2] Hoja de datos del Strain Gage: <http://www.vishaypg.com/docs/11224/125un.pdf>
- [3] Experimental Stress Analysis James W. Dally William F. Riley, McGraw-Hill Inc., US; Edición: 3rd Revised edition 1991