

## **DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ DE UNA RUEDA**

Pasquevich, Facundo <sup>(1)</sup>. Lang, Osvaldo <sup>(1)</sup>. Martínez del Pezzo, Andrés <sup>(1)</sup>. Bottani, Asdrubal <sup>(1)</sup>. Actis, Marcos <sup>(1)</sup>.

Centro tecnológico Aeroespacial (CTA). Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA).  
Departamento de Aeronáutica. Facultad de Ingeniería. UNLP. CP 1900.

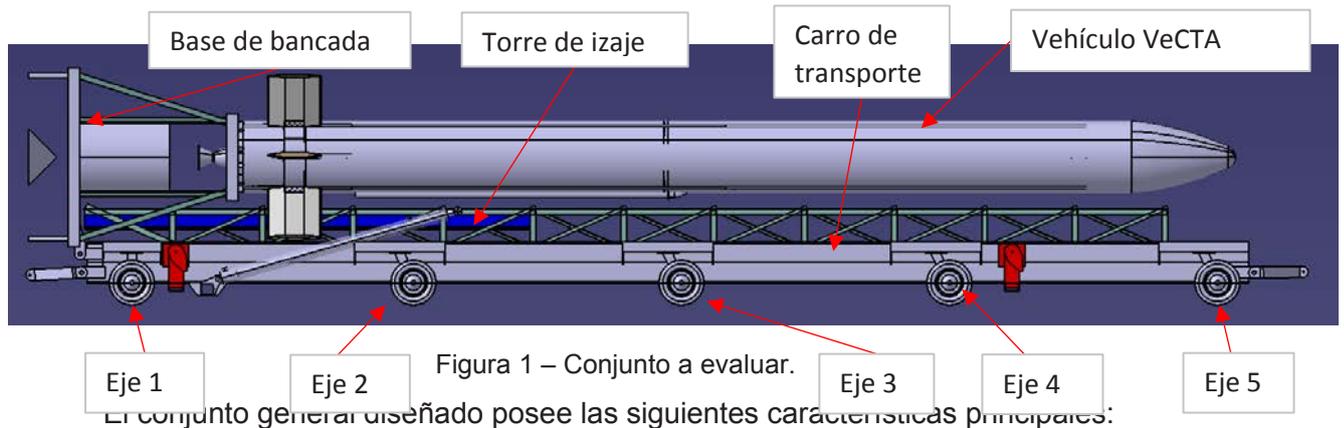
Sistema tierra, base de lanzamiento, carro de transporte, ensayo experimental, rigidez de las ruedas.

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentará el ensayo realizado para determinar la rigidez de un conjunto de rueda armada, considerando la cubierta y la llanta, variando la presión de inflado de la cubierta, de manera de determinar cuál será la configuración más adecuada para utilizar en el diseño de un carro de transporte de un cohete.

Para otorgarle sencillez constructiva y facilitar la logística, al diseñar un carro de transporte de un cohete de pequeño a mediano porte, resulta favorable asignarle no sólo la función del traslado propiamente dicho, sino también la de posicionar al cohete en el sitio de lanzamiento, realizar el izaje, y permitir el lanzamiento. Para que sea funcional en todas estas etapas antes mencionadas, el conjunto debe ser autocontenido por lo cual además del carro mismo, debe poseer una torre de izaje y lanzamiento, una base de sujeción del cohete al ser verticalizado, previo al lanzamiento y un sistema de izaje de accionamiento eléctrico o hidráulico entre otros accesorios menores asociados a cada etapa. En base a las dimensiones principales del cohete, el cual presenta una geometría esbelta, resulta una solución muy útil que el conjunto antes mencionado cuente con varios ejes (más de tres, por ejemplo), de forma de repartir la carga en forma más eficiente, permitiendo ahorrar materiales, al no requerirse una estructura tan rígida como la que sería necesaria si se eligiera una solución de solo dos ejes. Al optar por la solución de ejes múltiples, para cada uno de los estados de carga que surgen en las diferentes etapas, desde el traslado hasta el lanzamiento, se define un sistema hiperestático diferente, si consideramos que todas las cargas que debe soportar el carro se trasladan al suelo a través de los diversos ejes de las ruedas. Por lo tanto, al tratarse de un sistema hiperestático, la rigidez de los diferentes componentes del sistema juega un papel fundamental en la repartición de los esfuerzos. De esto surge la necesidad de conocer la rigidez de la vinculación de la estructura (el carro y todos los elementos accesorios además del cohete) al suelo o sea las ruedas, en razón que no constituyen apoyos infinitamente rígidos. Introducir esta rigidez en los modelos de análisis permite evaluar una repartición de cargas en las diferentes ruedas del conjunto más equitativa que considerar a tales apoyos infinitamente rígidos.

En la Figura 1 se presenta un ejemplo del conjunto descrito anteriormente.



El conjunto general diseñado posee las siguientes características principales:

- Ancho del carro (sin guardabarros): 800 mm.
- Largo del carro: 10.300 mm.
- Largo de la torre: 10.300 mm.
- Largo de vehículo: 8.884 mm.
- Peso de la torre: 400 daN.
- Peso del vehículo vacío: 600 daN.
- Peso de la bancada: 450 daN.

## DESARROLLO

Para realizar el ensayo se montó la rueda en un soporte en forma de horquilla construido específicamente para el ensayo y se lo colocó en una máquina de compresión. Por una cuestión de seguridad, se encerró a la rueda en una jaula, para que en el caso que alguna parte se rompiera durante el ensayo, quedara confinada dentro de la jaula. En la figura 2 se aprecia el conjunto montado en la máquina de ensayos, con y sin la jaula de seguridad. Como resultado secundario se buscó determinar el coeficiente de seguridad a la rotura de la rueda.



Figura 2 – Dispositivo de ensayo.

Se ejerció una fuerza de compresión a la horquilla, la que cargó la rueda en forma radial registrando la fuerza ejercida y el desplazamiento correspondiente.

La rueda ensayada se aprecia en la figura 3.



Figura 3 – Rueda inflable.

Las características de la rueda ensayada son:

1. Cubierta Marca HOFER modelo CU4008 (400x8)
2. Diámetro: 400 mm.
3. Ancho: 100 mm
4. Masa metálica
5. Carga máxima declarada: 225 daN.
6. Presión máxima: 248 kPa (36 PSI).

Para conocer la dependencia de la rigidez de la rueda con la presión de inflado se ensayó un primer conjunto con tres presiones diferentes: 172 kPa (25 PSI), 206 kPa (30 PSI) y 241 kPa (35 PSI). Los ensayos a 172 kPa (25 PSI) y a 206 kPa (30 PSI) se llevaron a cabo hasta alcanzar una fuerza de 100 daN. Mientras que el ensayo a 241 kPa (35 PSI) se realizó hasta alcanzar 300 daN.

Luego, se colocó un segundo conjunto y se realizó el ensayo con una presión de inflado de 241 kPa (35 PSI) hasta alcanzar 350 daN.

El objetivo de ejercer una fuerza mayor a 225 daN (carga máxima admisible) es definir la carga de rotura. Sin embargo, al alcanzar los 300 daN en el primer ensayo y los 350 daN en el segundo ensayo, las ruedas no sufrieron roturas ni daños visibles.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 4 a 7 se grafican las curvas de fuerza-desplazamiento de cada uno de los ensayos. En dichas curvas se aprecian entre dos y tres zonas, definidas por colores en función de las cargas aplicadas. La razón de dividir en diferentes zonas es poder ajustar de la mejor manera posible las curvas de tendencia y en consecuencia, obtener una mejor aproximación de la rigidez radial de las ruedas. La primera zona (azul) abarca desde el inicio del ensayo hasta los 45 daN. La segunda (naranja), desde los 45 daN a los 100 daN y la tercera (verde) desde los 100 daN hasta la carga máxima de ensayo.

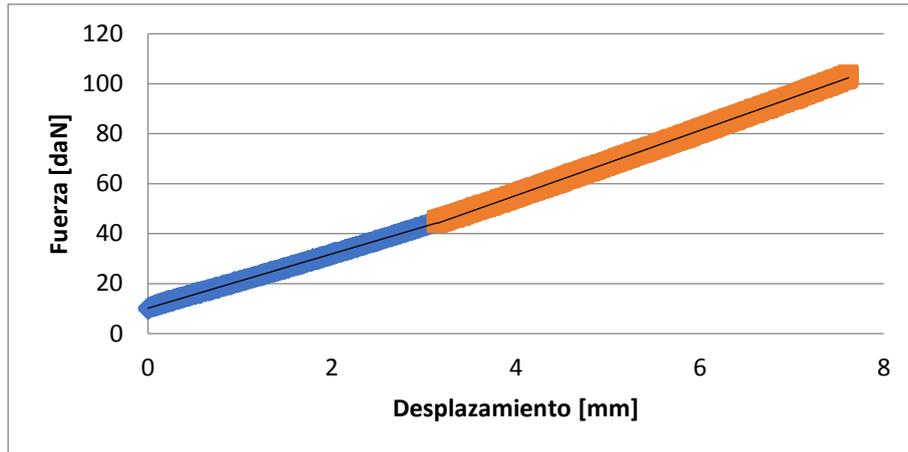


Figura 4 – Ensayo de la primera rueda con una presión de 172 kPa (25 PSI).

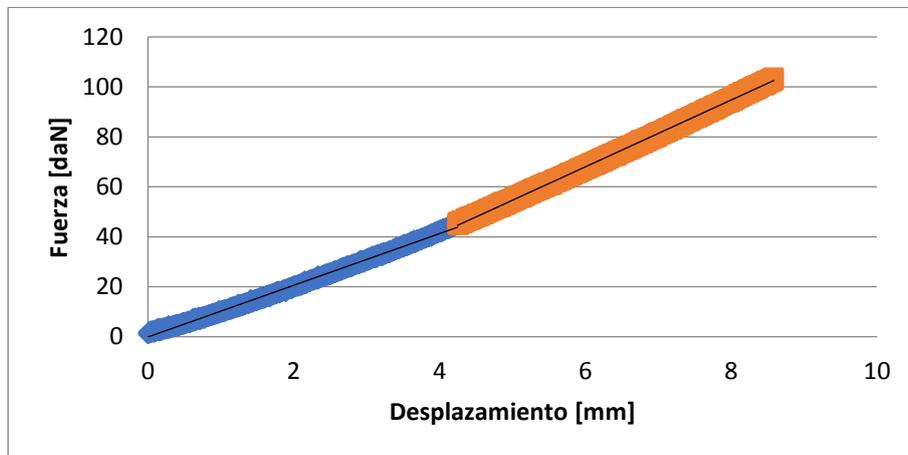


Figura 5 – Ensayo de la primera rueda con una presión de 206 kPa (30 PSI).

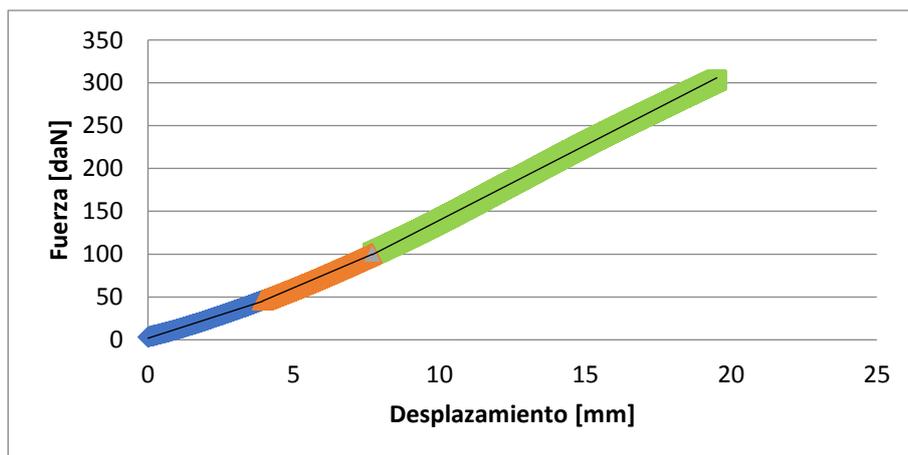


Figura 6 – Ensayo de la primera rueda con una presión de 241 kPa (35 PSI).

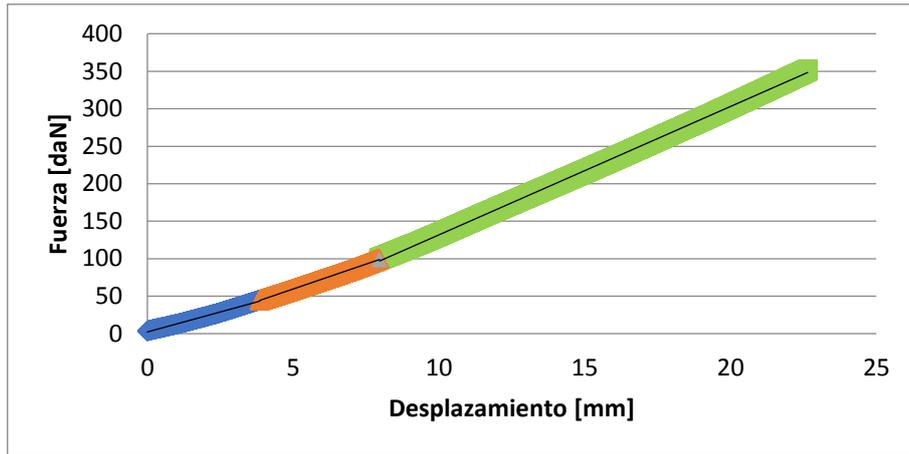


Figura 7 – Ensayo de la segunda rueda con una presión de 241 kPa (35 PSI).

En la Tabla 1 se presentan los valores de rigidez para los diferentes ensayos, diferenciados para cada zona.

|                 | Rigidez [daN/mm] |      |                  |      |                  |      |      |
|-----------------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------|
|                 | 172 kPa (25 PSI) |      | 206 kPa (30 PSI) |      | 241 kPa (35 PSI) |      |      |
| Zonas           | 1                | 2    | 1                | 2    | 1                | 2    | 3    |
| Primera muestra | 10,8             | 13,0 | 10,3             | 13,4 | 11,0             | 14,5 | 17,5 |
| Segunda muestra | -                |      | -                |      | 10,6             | 13,3 | 17,1 |

Tabla 1- Resultados del ensayo de rigidez.

Si bien no resulta sencillo encontrar valores de comparación en la bibliografía (1) de la rigidez de ruedas, a modo de referencia, en la figura 8, se muestran resultados de ensayos de rigideces radiales de ruedas de uso automotriz del tipo radial con medidas R13x165.

En la Figura 8 se observa un gráfico en el que se indica la variación de la rigidez en función de la presión de inflado de la rueda extraído de dicha bibliografía. Se observa que para una presión de inflado de 241 kPa (35 PSI), se obtiene una rigidez cercana a los 19,0 daN/mm, que considerando que la construcción de las cubiertas ensayadas en la bibliografía difiere en cierta medida de las ensayadas en este trabajo, podemos asumir que los resultados están en ordenes de magnitud comparables.

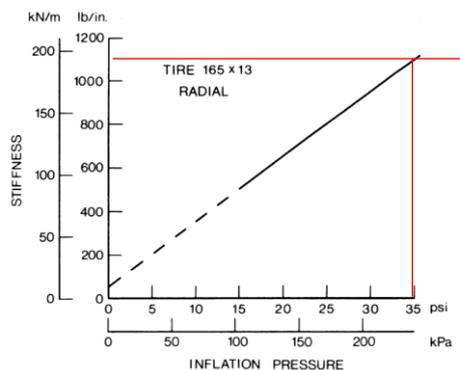


Figura 8 – Resultados de ensayos presentados en J. Y. Wong (2001), Theory of ground vehicles (1).

## CONCLUSIONES

El resultado indicado por *J. Y. Wong* para la rigidez radial presenta el mismo orden de magnitud y es comparable con el registrado en nuestro laboratorio, para cargas superiores a los 100 daN.

Debido a que la fuerza que se espera que soporte cada una de las ruedas colocadas en los ejes más solicitados del carro de transporte es superior a los 100 daN, se determina que el ensayo realizado en el laboratorio presenta datos de rigidez aceptables para ser utilizados en los cálculos estructurales.

A su vez, considerando que a mayor rigidez radial mayor es la carga que se ejerce sobre las ruedas más solicitadas, se establece una rigidez un 20% mayor a la obtenida en el ensayo. Es decir, se determina para el diseño que cada rueda tiene una rigidez radial de 21,0 daN/mm.

## BIBLIOGRAFÍA

(1) J. Y. Wong (2001), Theory of Ground Vehicles, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.