



ENTRE BASTIDORES: EVALUACIÓN EMPLEANDO MÉTODOS NUMÉRICOS

Palma, Alejandro; González, Borja;
Tutores: Barreiro, Pilar; Moya, Adolfo

Departamento de Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid
Correo electrónico: npa2890@gmail.com; borja.gonzalez.herrarte@alumnos.upm.es

RESUMEN

El *bastidor* de un tractor es la “estructura metálica perteneciente al chasis encargada de soportar todo el peso del vehículo”. En los tractores, debido a su gran compacidad, escasa longitud y elevada posición del centro de gravedad, el bastidor dominante durante el último siglo ha sido el bastidor de tipo monocasco. Recientemente, con el objetivo de reducir la relación masa/potencia, se vienen implantando en algunos modelos los bastidores de tipo chasis.

En el mundo, equipos de ingenieros investigan y desarrollan métodos numéricos empleando distintos modelos de bastidores tanto de tipo chasis como en los modelos de bastidores tradicionales. Esto ha permitido mejorar su diseño y facilitar el uso.

Además, las marcas de maquinaria agrícola potencian también la investigación para crear innovaciones estructurales que no hayan sido planteadas anteriormente y que supongan un ahorro en los costes de producción así como una mejora de las prestaciones de la máquina.

Palabras clave: *bastidor, metodos numericos, innivaciones estructurales*

INTRODUCCIÓN

Los tractores son vehículos autopropulsados gracias a un motor y transmisión que les permite, dadas sus características, no solo desplazarse por cualquier tipo de terreno sino, además, accionar o remolcar distintas máquinas agrícolas o forestales. Uno de los elementos principales en la estructura del tractor es el chasis, formado por un conjunto de piezas metálicas de alta resistencia mecánica, pues están diseñadas para soportar esfuerzos de tracción, compresión, flexión y torsión. Forman parte del chasis los ejes delantero y trasero, unidos a un bastidor previsto para soportar la carga estructural del tractor así como los esfuerzos dinámicos a los que se va a ver sometido.

En este trabajo se pretende ahondar en el concepto de bastidor como parte fundamental del chasis y algunas alternativas de diseño en el campo de maquinaria agrícola.

BASTIDORES

La estructura principal de un bastidor convencional consta principalmente de dos barras metálicas paralelas de sección rectangular unidas en su zona anterior al eje delantero de la transmisión y, en la parte trasera, a la carcasa de la caja de cambios.

Los largueros vendrán unidos por barras ortogonales a estos, que serán las encargadas de absorber los esfuerzos de torsión y repartir las cargas verticales.

Este diseño de bastidor clásico contrasta con el que ha prevalecido en la fabricación de tractores durante el último siglo tras su creación en 1.917, el bastidor de tipo monocasco. En él, se aprovecha la gran resistencia del grupo motor-transmisión para soportar la carga del tractor actuando a modo de travesaños y reduciendo el bastidor como tal a dos largueros enlazados rígidamente a este grupo. Dichos largueros se unen por la parte delantera al bloque motor y al eje delantero de manera transversal. Por su parte posterior, lo harán con el último tramo del sistema de transmisión (A. Guadilla, 1989).

En los últimos tiempos, la necesidad de mejorar el resultado obtenido en los ensayos sobre el terreno ha avivado el interés por los bastidores simples de tipo chasis.



Éstos, encargados de soportar toda la carga, han de permitir la reducción del peso del tractor y tienen un gran potencial para el desarrollo de mejoras en este campo en un futuro próximo.

Para el diseño y la producción, el objetivo de disminuir la relación masa/potencia (kg/kW) en un tractor está originado por la necesidad de llevar a cabo operaciones agrícolas reduciendo al mínimo la compactación que se produce en el terreno al aplicar una carga dinámica sobre él. Además, la reducción de la masa permite reducir costes de fabricación con ahorro de material y optimización del número de piezas a ensamblar.

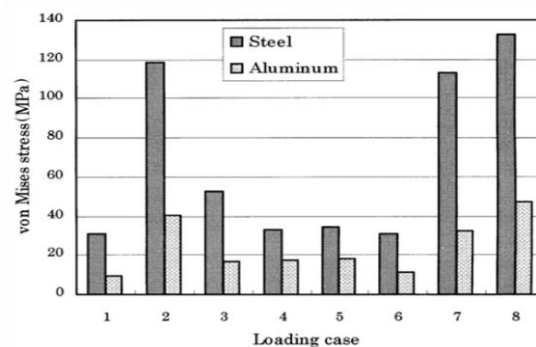
ANÁLISIS DE MODELOS DE BASTIDORES DE ALUMINIO (Muhaemin et al, 1999)

La reducción de peso de los tractores es uno de los grandes retos de la ingeniería agrícola. Algunos de los resultados obtenidos por Motobayashi et al. (1993) en una serie de ensayos permiten reducciones de hasta un 42% de la masa del bastidor. El gran problema para llevar a la práctica estas propuestas es la complejidad de la forma compuesta por las propiedades de los métodos numéricos, que hace difícil fabricarlos.

Partiendo de la idea de mantener formas simples M. Muhaemin et al (1999), centraron sus estudios en modificaciones en el material de fábrica. Para ello, diseñaron un modelo de bastidor de tipo chasis fabricado con piezas forjadas a partir de una aleación de aluminio, un material de baja densidad, alta resistencia, reciclabilidad, trabajabilidad y relativamente bajo coste.

El primer paso para comparar dos estructuras de bastidor similares es la elaboración de un modelo matemático que permita efectuar simulaciones reproducibles. Para ello se emplea el Método de los Elementos Finitos (FEM). A este modelo geométrico se le dan unas condiciones de contorno. Una vez elaborados los modelos de bastidores de acero y aluminio, ambas estructuras son sometidas a varias hipótesis de carga obteniéndose unos resultados de tensión y deformación en cada fracción volumétrica del modelo. Este estudio arrojó unos resultados concluyentes (Ver Figura 1.): el bastidor de aluminio soporta los esfuerzos hasta dos veces mejor que el de acero. La reducción de masa podría rondar el 50% de realizar un dimensionamiento del bastidor teniendo en cuenta únicamente su resistencia.

Figura 1. Tensión máxima de von Mises para cada hipótesis de carga



Fuente: M. Muhaemin et al. 1999. Studies of aluminium-made chassys-type

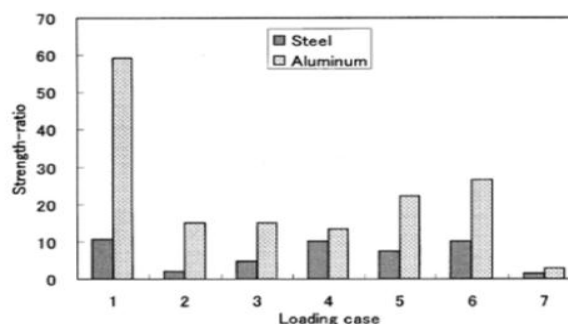
El principal inconveniente de los bastidores de aluminio es su menor rigidez frente al acero. Esta característica es particularmente importante en los tractores, pues la flexión en la dirección del eje vertical (Z) puede suponer la inestabilidad del vehículo y una menor comodidad para el operario.

Ahondando en el trabajo anterior, el mismo equipo de investigadores (M. Muhaemin et al (1999)), decidió avanzar en la mejora del modelo de bastidor de aluminio. El objetivo en este caso, era conseguir reducir un mayor porcentaje en peso sin sacrificar las características de resistencia ni de rigidez del bastidor. Tampoco se diseñaría una forma complicada pues no resulta interesante económicamente su fabricación. Por ello, se redujo el área de las secciones de largueros y travesaños sometiendo los nuevos modelos a esfuerzos considerando 7 hipótesis distintas.



Los resultados obtenidos en este segundo ensayo mostraron una clara mejora de las características de rigidez en los bastidores de aluminio; con una reducción de la masa estructural del 28% cuando se emplea aluminio como material de fabricación y consiguiendo además un 50% más de resistencia que para estructuras de acero cuando el bastidor se ve sometido a carga máxima. Para otras hipótesis fue mayor (Ver Figura 2).

Figura 2. Ratio de resistencia para cada hipótesis



Fuente: M. Muhaemin et al. 1999. Studies of aluminium-made chassys-type

En conjunto, la rigidez de todos los bastidores de aluminio ensayados por este equipo de investigación, fue prácticamente igual a la del bastidor de acero. De esta forma es posible superar uno de los grandes inconvenientes que presenta este material a la hora de conseguir una reducción de masa considerable.

ANÁLISIS DE RUIDOS Y VIBRACIONES, Y OPTIMIZACIÓN EN BASTIDORES TIPO MONOCASCO (T.Koizumi et al, 1998)

En los bastidores monocasco es esencial disminuir las vibraciones y el ruido en la cabina del tractor. Al constituir el soporte estructural del bastidor parte de los propios elementos mecánicos del tractor (cárter de la transmisión, embrague, volante de inercia...), el efecto de las vibraciones se acentúa.

Por todo ello, estos autores publican: en primer lugar realizar medidas de las vibraciones producidas por el eje motor - volante de inercia – embrague – transmisiones, empleando para ello acelerómetros estratégicamente situados. De ello se derivan una serie de frecuencias naturales características que se emplean en el ajuste a una función y se obtienen los parámetros característicos. A continuación, se repite el proceso pero midiendo las frecuencias en el bastidor aislado del resto del tractor.

Se mide el ruido en cabina con micrófonos en el suelo de la misma y a la altura del oído del operador. Dentro de la cabina se encontraron dos picos significativos de frecuencias: 120 y 260.6 Hz. Esta segunda frecuencia se aproxima a la frecuencia del tercer modo de la frecuencia de vibraciones obtenida en las derivaciones del tractor, aspecto que puede provocar un efecto de resonancia en la cavidad de la cabina.

En este estudio se realiza además una medida de ruido exterior al tractor, y se obtienen también, dos máximos en las frecuencias: 265 y 330 Hz; el máximo a 330 Hz es causado por la frecuencia de resonancia de la estructura de la cabina, mientras que el de 265 Hz está causado por la coincidencia entre la frecuencia de resonancia del tractor y la frecuencia asociada del espacio interior de la cabina. Por tanto, cuando se varíe la frecuencia asociada al hueco de la cabina será probable disminuir el ruido en su interior.

Una vez realizadas las medidas anteriormente descritas, se procede a la construcción de un modelo numérico del bastidor para la optimización de su diseño. Para ello se divide el bastidor en cuatro subestructuras (volante de inercia, embrague, eje, transmisión) y sus respectivas uniones. Mediante un software específico, y estableciendo una serie de parámetros se clasifica cada área de cada sub-estructura en un grupo referido a 4 posibles categorías de espesor: 5, 10, 15 y 20mm. Los datos obtenidos en este proceso se comparan con los obtenidos experimentalmente observándose la existencia de un error considerable entre ambos. Los autores achacan el error a las variaciones de grosor



en todo el bastidor que han de ser corregidos. Para realizar esta mejora, se recurre al método de “ajuste de resonancia” estableciendo una relación entre los datos experimentales y los analíticos, y empleando el espesor de cada caso como parámetro adicional, así como la frecuencia natural y un estimador (MAC). Con los nuevos datos, el error es mucho más bajo que el primero, mejorándose la precisión del modelo. También se realiza una evaluación de la rigidez de las uniones.

Finalmente los autores proceden a la construcción del modelo de bastidor equivalente mediante la combinación de cuatro sub-estructuras y teniendo en cuenta la cte. elástica.

Por último, se realiza la optimización del bastidor aplicando un análisis de sensibilidad, con el objetivo de incrementar la rigidez de la estructura disminuyendo el peso total de ésta, a la vez que se incrementa la frecuencia natural (evitar fenómenos de resonancia).

Estableciendo como parámetros de diseño el grosor, el peso y la frecuencia natural obtenemos como resultado del análisis de sensibilidad unos valores límite.

En las zonas sensibles se alcanza un aumento del espesor máximo del 30%, y en las zonas menos sensibles se reduce el espesor en un 5-10 %.

Con este procedimiento los autores consiguen reducir el peso del bastidor en 2.8 kg, así como incrementar la frecuencia natural en 13 Hz. Con este incremento de frecuencia, se consigue disminuir el nivel de decibelios en cabina en 0.8-4.

PATENTES

El “Smart chassis”, Medalla de plata Agritécnica 2011 de Ludwig Bergmann Company está diseñado para ser el soporte de cualquier tipo de maquina agrícola. Su elemento principal es un bastidor modular de tipo chasis diseñado gracias a la ingeniería mecatrónica que permite tanto soportar la carga de la máquina y realizar las medidas de masa en cada momento como gestionar la fuerza de tracción, mantener la estabilidad del vehículo evitando vuelcos, regular el nivel lateral y la elevación del eje.

Una patente norteamericana de un tractor con cabina frontal articulada (Robert A. Doll, 2010) nos muestra un nuevo concepto de tractor, más versátil, pero de escasa potencia debido a sus limitaciones de tamaño. Su estructura se basa en la división en dos partes del tractor: una cabina principal, con todos los elementos y mecanismos; y una parte trasera donde va alojado el motor.

Otra innovación reciente es el “Nuevo modelo de bastidor y su método de fabricación” de K. Iwaki, 2006. Se trata de un bastidor de tipo chasis para tractores pequeños. Su principal diferencia respecto a otros chasis radica en la forma de los largueros acodados.

CONCLUSIONES

Una pieza fundamental del tractor como es el bastidor, que prácticamente no ha sufrido cambios durante el s XX, es el responsable indirecto (ruido, vibraciones) o directo (rigidez, peso) de muchas características de los tractores. Si un elemento tan influyente en el funcionamiento del tractor, tanto en la estructura como en la comodidad para el operario, ha sufrido el inmovilismo de las compañías fabricantes de maquinaria agrícola hasta la última década, el abanico de mejoras disponibles parece inmenso.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Guadilla, 1989; Tractores
- Arias-Paz, 2000; Tractores
- Ortiz-Cañavate, Jaime y colaboradores, 2005; Tractores
- J. Font Mezquita et al. 2004. Tratado sobre automóviles
- Arnal Atares, P. V. y Laguna Blanca, A., 2005. Tractores y motores agrícolas.
- M. Muhaemin et al. 1999. Studies of aluminium-made chassys-type
- T. Koizumi et al. 1998, Structural optimization of tractor frame for noise reduction
- Iwaki et al. 2006. Tractor frame method of manufacture therefor
- Robert A. Doll, 2010. Forward cab articulated tractor
- Ludwig Bergmann Company, 2011. Smart chassis
- Motobayashi et al, 1993