

SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE OSCILACIONES EN EL SISTEMA DE PROPULSIÓN-DIRECCIÓN DEL VEHÍCULO “ELECTROVIRA”

Enrique Chicurel Uziel y Filiberto Gutiérrez Martínez
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacan, México D.F., C.P. 04510
ecu@pumas.iingen.unam.mx
fgum@pumas.iingen.unam.mx

RESUMEN

En las pruebas preliminares del vehículo se presentó un grave problema de oscilaciones de los bastidores de viraje que a su vez son portadores de las unidades de propulsión. Se logró resolver este problema con un amortiguador comercial de bajo costo y un dispositivo para amplificar la extensión del amortiguador. Dicho dispositivo también tuvo la función de alejar al amortiguador del volumen de barrido de las unidades de propulsión, evitando así su interferencia para mantener la característica principal del “Electrovira” que es un intervalo de viraje de 180°, 90° a la derecha y 90° a la izquierda.

ABSTRACT

A serious problem of oscillations of the propulsion units and the steering frames, on which they are mounted, appeared during the preliminary tests of the “Electrovira” vehicle. This problem was solved by means of a low cost commercial damper and a device to amplify the displacement of the piston rod. Furthermore, this device served the purpose of moving the damper away from the volume swept by the steering frames, thus avoiding their interference and preserving the main distinguishing feature of the Electrovira, its 180° steering interval, 90° to each side.

DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO

El vehículo “Electrovira” tiene un intervalo de viraje de 180°, 90° para cada lado (de acuerdo con lo que se menciona en el resumen), que cumple con la Ley de Viraje o geometría Ackerman, es decir, que al dar la vuelta las cuatro ruedas trazan trayectorias de círculos concéntricos [1]. Para lograr esto se recurrió a la tracción delantera y a amplificadores de desplazamiento angular en las flechas de viraje de las ruedas. Se tiene un sistema de propulsión doble. Cada unidad de propulsión está montada en un bastidor de viraje fijo a una flecha de viraje, de suerte que todo este ensamble, además de la suspensión y la rueda, gira con la flecha.

Cada unidad de propulsión consta de un motor, dos reducciones de cadena y una rueda. La suspensión consta de un brazo basculante (en donde está montada la rueda), un resorte y un amortiguador. La Fig. 1 es una vista del vehículo.

Existen algunos antecedentes en otros vehículos muy maniobrables. Por ejemplo, el Nissan con dirección en las cuatro ruedas, pero que según los propios diseñadores tiene como desventaja un coleo peligroso [2]. También está el Jeep Hurricane que puede virar a 90° pero no puede hacerlo a ángulos intermedios entre 45° y 90°, y además también tiene un coleo peligroso [3][4].



Fig. 1. El vehículo "Electrovira".

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE OSCILACIONES

Cada bastidor de viraje, conjuntamente con la unidad de propulsión, la suspensión y la rueda tiene un peso muy considerable, y además un centro de gravedad bastante retirado de su flecha de viraje correspondiente, como se aprecia en la Fig. 2. Por este motivo, y a pesar de la rigidez del mecanismo de la dirección, se presentaron oscilaciones de gran amplitud entre los dos bastidores [5]. En este trabajo se describe cómo se resolvió este problema.



Fig. 2. Vista frontal del vehículo en posición de viraje a 90° hacia la izquierda, que muestra las dos flechas de viraje con sus líneas de centro resaltadas en verde. Se aprecia la gran masa combinada de los bastidores y de las unidades de propulsión, y además, también se aprecia el descentramiento de la misma respecto a las flechas de viraje.

Con relación a las oscilaciones, el sistema vibratorio consta de: (1) la inercia de los bastidores de viraje, incluyendo las unidades de propulsión montadas sobre ellos; (2) los elementos elásticos, que en este caso, son esencialmente las flechas de viraje; (3) el amortiguamiento estaba constituido mayormente por la fricción entre llantas y suelo, así como por la propia deformación torsional de la llanta; y (4) la excitación que resulta de los impactos con las irregularidades del pavimento.

Por un lado, como ya se mencionó, la inercia del sistema es particularmente grande y el amortiguamiento era sumamente débil. En el modo fundamental, los bastidores oscilaban en contrafase, Fig. 3.

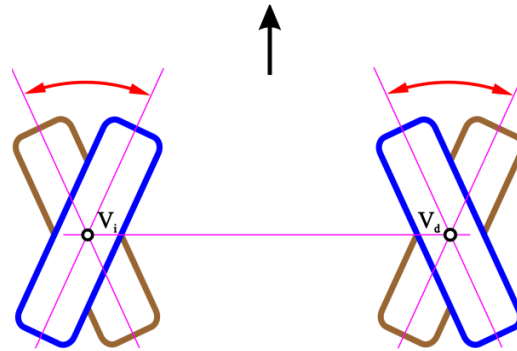


Fig. 3. Esquema (vista superior) que muestra las posiciones extremas de la oscilación de las ruedas delanteras. Como se aprecia, las oscilaciones son en contrafase.

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para resolver este problema habría que reducir la inercia o aumentar el amortiguamiento. La inercia es inherente al diseño, por lo que disminuirla estaba fuera de consideración, así que lo indicado era aumentar el amortiguamiento, es decir, incluir amortiguadores.

Lo siguiente era determinar cuántos amortiguadores se utilizarían y dónde se anclarían. Se consideraron dos posibilidades: (a) un solo amortiguador con sus extremos anclados en los bastidores de viraje; (b) dos amortiguadores, cada uno anclado por un extremo al chasis y por el otro al correspondiente bastidor de viraje.

Se optó por la primera alternativa por ser la indicada para eliminar las oscilaciones en contrafase de los bastidores de viraje (la acción de amortiguamiento es de un bastidor contra el otro). Las camionetas y camiones convencionales utilizan un amortiguador, precisamente en el mecanismo de la dirección, anclado al chasis, y ejerce su efecto para minimizar las vibraciones que se presentan en el conjunto del mecanismo de la dirección ocasionadas por irregularidades en el pavimento. Pero, en el caso del Electrovira no se trataba de minimizar las vibraciones del conjunto del mecanismo de la dirección respecto al chasis sino la oscilación de un bastidor de viraje respecto al otro.

Se contempló la utilización de un amortiguador de carrera larga, la requerida para satisfacer el intervalo de viraje de 180°. Sin embargo, como se aprecia en la Fig. 4-b tal alternativa planteaba la necesidad de hacer una muesca de considerable tamaño en los bastidores de viraje, lo que los habría debilitado. Además un amortiguador tal no es de línea, por lo que habría que hacer un pedido especial a una empresa en Estados Unidos y, por lo tanto, sería costoso y con un tiempo de entrega prolongado. En vista de estas consideraciones se descartó esta opción, y en cambio, se decidió utilizar un amortiguador comercial de carrera más corta, y mucho más económico (de la camioneta Ford F100).

Tal vez no está por demás señalar que desde un principio se descartó aumentar la rigidez torsional de las flechas de viraje porque esto significaría un rediseño mayor que implicaría un aumento inaceptable en las dimensiones tanto de las flechas como de los baleros y hasta en la longitud del vehículo. Sin embargo, se rigidizaron las flechas de los engranes de la dirección porque se observaron oscilaciones flexionantes en las mismas, pero esto no tuvo ningún efecto en las oscilaciones de los bastidores de viraje, y por lo tanto tampoco lo tuvo en las deformaciones torsionantes de las flechas de viraje.

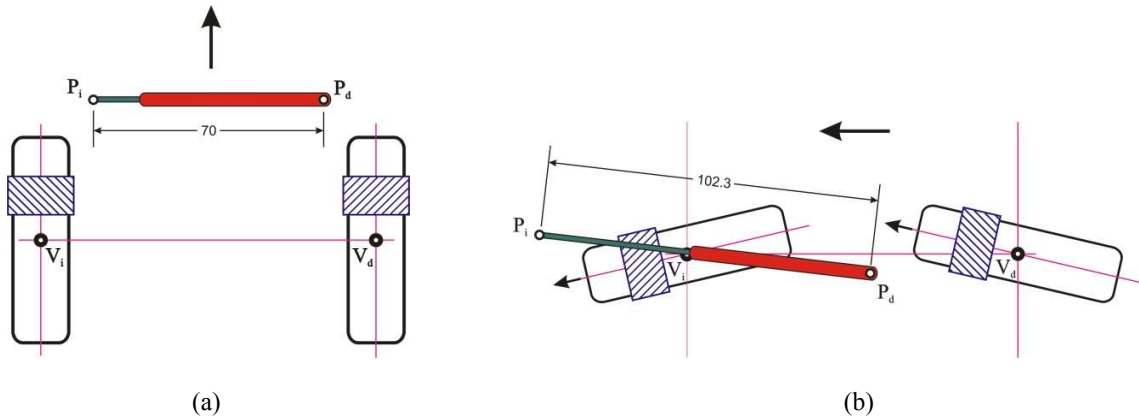


Fig.4 Esquema que muestra una vista superior de las ruedas y del amortiguador de carrera larga, en dos posiciones, (a) marcha hacia delante y (b) viraje a 90°. Los rectángulos sobrepuestos a las ruedas representan un corte seccional horizontal en los bastidores de viraje, a la altura del amortiguador. Como se aprecia en la Fig. 4-b, el vástago del pistón del amortiguador interfiere con el bastidor de viraje, lo que supone la necesidad de hacer una muesca de tamaño considerable en los bastidores de viraje.

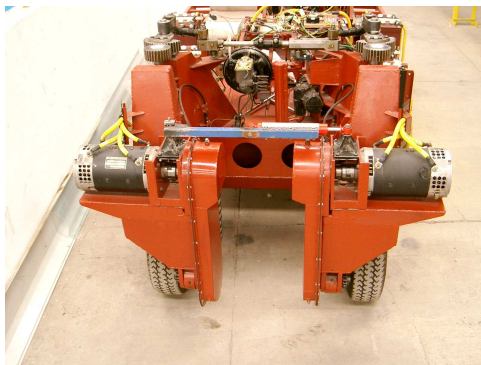
Los postes para montar el amortiguador en los bastidores de viraje se escogieron a manera de minimizar la interferencia así como la máxima extensión del amortiguador debida al viraje. Se consideró adecuado, por cuanto a la fuerza de amortiguamiento, utilizar un amortiguador de la dirección de una camioneta Ford F100, por tener este vehículo un peso similar al del “Electrovira”. Sin embargo, para poder virar a 90° se requiere que la separación entre postes aumente 32 cm pero el amortiguador sólo se extiende 23 cm, Fig. 5. Sin embargo, se hizo una prueba en estas condiciones y se comprobó que el amortiguador esencialmente evitaba las oscilaciones.

Por lo tanto, sólo quedaba diseñar un dispositivo que alejara al amortiguador de la zona de barrido de los bastidores y que amplificara su desplazamiento.

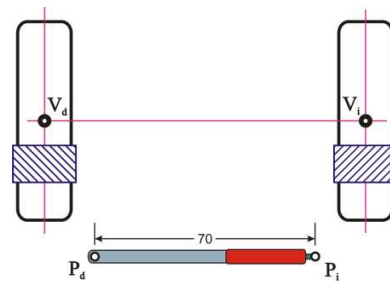
Para cumplir con este propósito se consideró un mecanismo en forma de “A”, cuyo travesaño es el propio amortiguador articulado en las patas de la “A”. Dichas patas están ancladas, en forma articulada, a los bastidores de viraje, y en el vértice de la “A” hay otra articulación que permite que una pata gire respecto a la otra. Sin embargo, este mecanismo sobresalía mucho del contorno del vehículo, aumentando efectivamente su longitud, Fig. 6. Para superar este problema se concibió y fabricó un mecanismo de configuración en “X”, Fig. 7.

Conviene señalar que los desplazamientos, tanto en el amortiguador como entre los postes, son iguales en los mecanismos “A” y “X”, y por lo tanto, también las fuerzas son iguales; pero como se mencionó anteriormente el mecanismo “X” se diseñó para eliminar la desventaja en el mecanismo “A” referente al hecho de que sobresalía demasiado.

El mecanismo “A”, claramente el antecesor del mecanismo “X”, se describe en este artículo con el fin de dar una idea de la evolución del concepto.



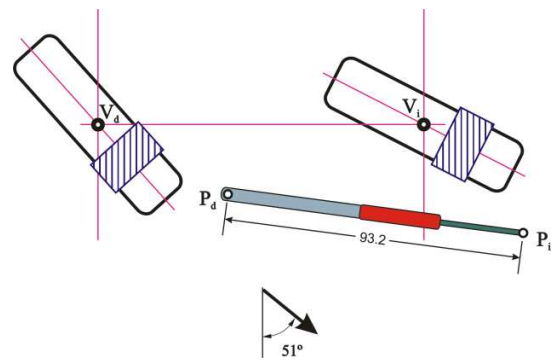
(a1)



(a2)



(b1)



(b2)

Fig. 5. El amortiguador montado directamente sobre los postes P_d y P_i . (a) Posición de marcha hacia delante: (a1) foto, (a2) esquema de la vista superior. El amortiguador se representa en rojo y los rectángulos achurados representan las secciones horizontales de los bastidores de viraje a la altura del amortiguador. (b) Posición del máximo viraje posible, limitado a 51° por la máxima extensión del amortiguador.



(a)



(b)

Fig. 6. Modelo de cartón del mecanismo "A" que se consideró para alejar al amortiguador del barrido de los bastidores de viraje para evitar la interferencia y para permitir la separación necesaria entre los postes de

los bastidores de viraje para lograr la vuelta a 90°. La porción azul-verde de la barra transversal representa al amortiguador. (a) Posición de marcha hacia delante; (b) Posición de viraje a 90°.

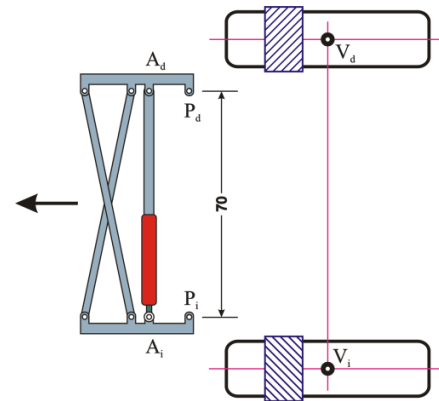
DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO “X”

Este mecanismo recibe su nombre por el hecho de tener dos barras cruzadas; en él se utilizaron articulaciones esféricas de vehículos comerciales para evitar deformaciones y esfuerzos indeseables en sus eslabones; además se elimina la necesidad de ajustes y se facilita su armado, montaje y desmontaje.

El mecanismo “X” está compuesto por cuatro barras articuladas como se muestra en la Fig. 7. El amortiguador está montado en ese mecanismo mediante las articulaciones A_i y A_d . Durante un viraje, el giro de los bastidores hace que se separen los postes de las articulaciones P_i y P_d , ocasionando una extensión relativamente lenta del amortiguador. Desde luego, el amortiguador resiste una extensión rápida como la ocasionada por una oscilación. Como se aprecia en la Figura 7, el amortiguador quedó alejado de la zona de barrido de los bastidores y el desplazamiento entre las articulaciones P_i y P_d es considerablemente mayor que entre las articulaciones A_i y A_d , de tal manera que el mecanismo cumplió con los requerimientos. Además, el mecanismo “X” es considerablemente más compacto que el mecanismo “A” y por lo tanto sobresale menos del contorno del vehículo.



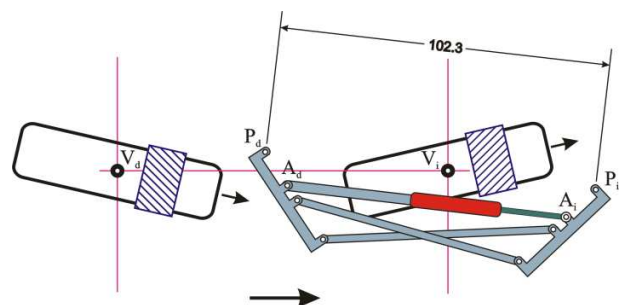
(a1)



(a2)



(b1)



(b2)

Fig. 7. Mecanismo “X”, el definitivo, que aleja al amortiguador del barrido de los bastidores de viraje, evitando así la interferencia y permitiendo la separación necesaria entre los postes de los bastidores de viraje para

lograr la vuelta a 90°. (a) Posición de marcha hacia delante: (a1) foto, (a2) esquema de la vista superior. El amortiguador se representa en rojo y los rectángulos achurados representan las secciones horizontales de los bastidores de viraje a la altura del amortiguador. (b) Posición del máximo viraje posible, 90°.

CONCLUSIONES

Lo que se pretendía eliminar eran las oscilaciones en contrafase de gran amplitud puesto que éstas implican una torsión excesiva en las flechas de viraje. Con el mecanismo “X” ya no se perciben tales oscilaciones. Sin embargo, se observa que hay un pequeño bamboleo (“shimmer” en inglés) de las ruedas delanteras en marcha hacia delante, aparentemente causado por un pequeño juego en los engranes de los amplificadores del mecanismo de la dirección.

La fuerza de amortiguamiento se redujo, no obstante es suficiente para eliminar las oscilaciones en contrafase. El mecanismo “X” permite un desplazamiento mayor, 32 cm, entre los puntos de anclaje en los bastidores de viraje (que la extensión del propio amortiguador, 23 cm), correspondiendo a un intervalo de viraje de 180°, es decir, un ángulo de viraje máximo de 90° para cada lado.

El desplazamiento relativo entre los bastidores de viraje que se presenta al dar la vuelta, se transmite al amortiguador mediante un mecanismo que actúa como reductor, de tal manera que el amortiguador montado en el propio mecanismo, trabaja dentro de su rango de extensión permisible.

Sin embargo, en la última demostración del vehículo, en reversa, se observaron oscilaciones en fase, por lo que habrá que investigar la causa y encontrar una solución.

REFERENCIAS

- [1] Gillespie T.D., Fundamentals of vehicle dynamics. *SAE*, Warrendale PA, USA, pp 196-197 y 276-279, 1992.
- [2] Katoh H., Torizuka T., Minami K., Hata N. y Watanabe Y., “Development of a medium duty truck with a mechanical linkage type four wheel steering system”. *SAE Transactions*, Vol. 99, No 2, pp 870-876, 1990.
- [3] Automotive Tech, Jeep Hurricane. *Popular Science*, pp 36, Dec. 2005.
- [4] Jeep Hurricane. 2005, <http://www.jeep.com/autoshow/news/hurricane.html>
- [5] Chicurel E. y Gutiérrez F., ““Electrovira” Vehículo repartidor eléctrico de maniobrabilidad excepcional”. Memoria del XII Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica. Acapulco, Gro. México. pp 273-279. Septiembre, 2006.