

DOI: <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2761>Recibido: 21 de mayo de 2017  
Aceptado: 22 de octubre de 2017**CONSIDERACIONES CINEMATICAS Y DINAMICAS PARA EL  
DESARROLLO DE CONTROL A UN SISTEMA DE SUSPENSION****CINEMATIC AND DYNAMIC CONSIDERATIONS FOR THE  
DEVELOPMENT OF CONTROL A UN SUSPENSION SYSTEM****Ing. Leonardo Navarro Torrado\***, **Ing. Juan Guillermo Garcia Rincon\*\***  
**Ing. Hulber Rodrigo Rodriguez Pinzon\*\*\***

\* **SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA** Tecnoparque nodo Ocaña.  
Transversal 30, # 7-110 La primavera, Ocaña norte de Santander, Colombia  
(+57) (7) 5611035

E-mail: leo\_navarro\_11@hotmail.com

\*\* **SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA** Tecnoparque nodo Ocaña.  
Transversal 30, # 7-110 La primavera, Ocaña norte de Santander, Colombia  
(+57) (7) 5611035

E-mail: jggarcia87@misena.edu.co

\*\*\* **SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA** Tecnoparque nodo Ocaña.  
Transversal 30, # 7-110 La primavera, Ocaña norte de Santander, Colombia  
(+57) (7) 5611035

E-mail: hrrodriguepi@misena.edu.co

**Resumen:** Este artículo está enfocado en el diseño de un controlador para un sistema de suspensión pasiva, partiendo de las correctas posiciones que debe adoptar un vehículo automotor y generando el modelo matemático que rija el sistema, el controlador diseñado permitirá mejorar las condiciones de confort, seguridad y maniobrabilidad del vehículo, como lo hace actualmente los sistemas de suspensión activa. Se evidenciará los resultados por medio de simulaciones.

**Palabras clave:** Suspensión pasiva, Suspensión activa, vehículo, automotor, controlador.

**Abstract:** This research focuses on the design of a controller for a passive suspension system, based on the correct positions that an automotive vehicle should adopt and generating the mathematical model that governs the system. The designed driver will improve the conditions of comfort, safety and maneuverability of the vehicle. As active suspension systems currently do. The results will be evidenced by means of simulations.

**Keywords:** Passive suspension, active suspension, vehicle, motor, controller.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de suspensión de los vehículos automotores permiten controlar de forma directa la seguridad y el confort. La suspensión tiene como función mantener en todo momento la llanta pegada al terreno, aislar las perturbaciones del camino, soportar el peso estático del vehículo y

brindarle al conductor unas condiciones de maniobrabilidad buenas al momento de acelerar, frenar y girar.

Los sistemas de suspensión pueden ser dependientes o independientes, las de tipo independiente se clasifican en tres, suspensión pasiva, suspensión semi-activa y suspensión activa.

La suspensión pasiva no es regulable, los parámetros que rigen la dinámica de cada elemento de la amortiguación son constantes. La suspensión semi-activa emplea sistemas regulados que permiten variar elementos de la amortiguación. La suspensión activa se compone de una serie de sensores y actuadores que necesitan de un canal externo de energía, para actuar de manera más rápida y constante sobre cada rueda (Parra Ortega C, Herrera Vergara J.2013).

Los vehículos automotores mantienen una posición inicial cuando están en reposo ósea cuando no están en movimiento ni sometidos a fuerzas externas, esta posición está definida por el conjunto de elementos que componen la suspensión, en el caso de la McPherson está constituida por el brazo de control, el puntal McPherson y el conjunto de rueda, todo esto anclado al chasis del automóvil, estos elementos mantienen un comportamiento estático que definen la posición inicial o en reposo del vehículo.

## 2. sistema de suspensión independiente McPherson

Es uno de los diseños de suspensión más sencillos y más utilizados en los automóviles tipo livianos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el costo de producción y el poco espacio que ocupa, puede ser usado tanto en el tren delantero como en el tren trasero. Su mecanismo forma un triángulo articulado formado por el brazo inferior, bastidor (chasis) y el muelle-amortiguador.

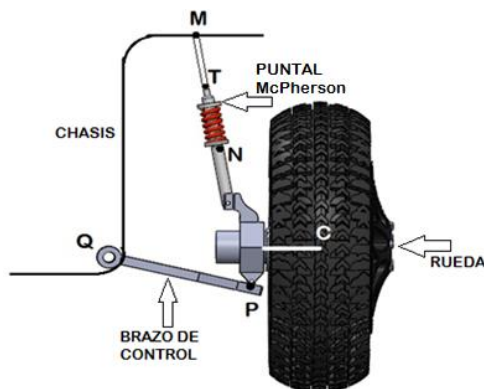


Figura 1. Componentes de la suspensión McPherson.

### 2.1 Comportamiento cinemático

La cinemática estudia los movimientos de los cuerpos independientemente de las causas que lo producen y solo estudia la trayectoria en función del tiempo, todo esto referenciado por un sistema de coordenadas (Torres Clayton J et al., 2013). En el caso de la suspensión McPherson está representado por un mecanismo de cuatro barras, este mecanismo representa el modelo planar de la suspensión, para el caso de nuestro estudio las coordenadas del mecanismo nos definen los grados de libertad del sistema los cuales determinan el estado del mismo.

Se plantea un modelo bidimensional que representa la geometría no lineal de la suspensión McPherson, ya que un modelo tridimensional es un análisis muy complejo. El modelo planar también tiene en consideración el amortiguamiento del neumático y la deflexión lateral del mismo, que nos permite tener un análisis más simple, que ofrece la información necesaria para obtener el modelo matemático que rige el sistema y para el diseño del controlador.

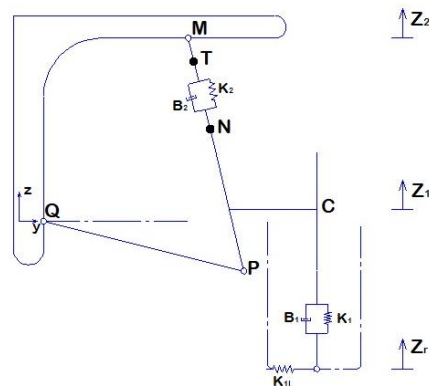


Figura 2. Modelo cinemático del sistema de suspensión McPherson

Un sistema dinámico es un modo de describir el recorrido a lo largo del tiempo de todos los puntos de un espacio dado. El espacio puede imaginarse, por ejemplo, como el espacio de estados de cierto sistema físico (Sandoval G. et al 2011). El análisis del comportamiento dinámico del sistema se hace teniendo en cuenta la energía cinética T, la energía potencial elástica V y el amortiguamiento viscoso que es una fuerza no conservativa y se puede considerar utilizando la función de disipación de Rayleigh D.

$$T = \frac{1}{2} M_2 \dot{Z}_2^2 + \frac{1}{2} M_1 (\dot{V}_C^2 + \dot{Z}_1^2) + \frac{1}{2} I_C \dot{\phi}^2$$

$$V = \frac{1}{2} K_2 (\delta l)^2 + \frac{1}{2} K_1 (\delta Z_1)^2 + \frac{1}{2} K_{1l} (\delta Y_{1l})^2$$

$$D = \frac{1}{2} B_2 (\delta \dot{l})^2 + \frac{1}{2} B_1 (\delta \dot{Z}_1)^2$$

### 3. Modelamiento matemático

Al analizar el comportamiento del vehículo se puede ver como un sistema dinámico que depende en gran medida del funcionamiento de la suspensión, se considera que el chasis (masa suspendida) y el conjunto conformado por la llanta (masa no suspendida) tiene un movimiento de cuerpo rígido, este modelo de suspensión se representa como un sistema dual de masa-resorte y amortiguador.

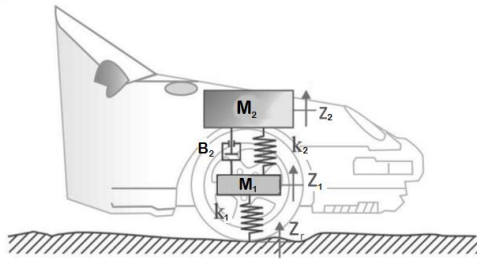


Figura 3. Esquema de un sistema de suspensión pasiva

En la figura 3 se aprecia la dinámica de un sistema de suspensión independiente representada a un cuarto de un vehículo es decir a una sola rueda,  $M_2$  es el chasis o masa suspendida la cual está conectada con  $M_1$  o masa no suspendida por medio del resorte  $K_2$  y el amortiguador  $B_2$ . Todo el sistema entra en contacto con la superficie de rodadura (camino) por medio de un resorte  $K_1$  ya que este actúa de la misma forma que un neumático y facilita el análisis.

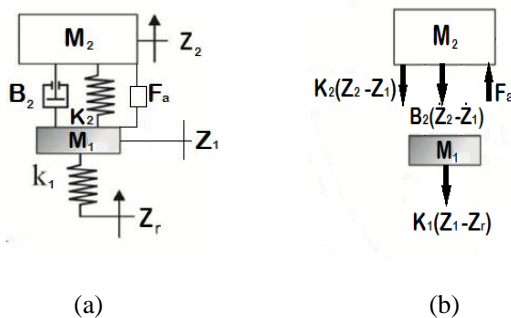


Figura 4. Modelo lineal de la suspensión, (a) esquema suspensión (b) diagrama de fuerzas

La figura 4. (a) muestra el modelo lineal de la suspensión McPherson para un sistema dual masa-resorte-amortiguador,  $M_2$  y  $M_1$  son la masa suspendida y no suspendida respectivamente y entre ellas  $F_a$  el actuador. En la figura 6. (b) se ve el diagrama de fuerzas del modelo planteado, aplicadas desde las leyes de Newton, lo cual no genera un sistema de ecuaciones de segundo orden.

Modelado de la suspensión lineal en espacio de estados.

$$\ddot{Z}_2 = -\frac{B_2}{M_2} (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_1) - \frac{K_2}{M_2} (Z_2 - Z_1) + \frac{1}{M_2} F_a$$

$$\ddot{Z}_1 = -\frac{K_1}{M_1} (Z_1 - Z_r) + \frac{B_2}{M_1} (\dot{Z}_2 - \dot{Z}_1) - \frac{K_2}{M_1} (Z_2 - Z_1) - \frac{1}{M_1} F_a$$

Haciendo el modelado en espacio de estados obtenemos la ecuación.

$$y = c_x [1 \ 0 \ 0 \ 0] x$$

### 4. Diseño del sistema de control que permita estabilizar el sistema dinámico de manera autónoma

El controlador PID propuesto para el sistema, de la ecuación matricial es

$$u = -k_d x_2 - k_p x_1 - k_i \int_0^t x_1(\tau) dt$$

Se asume  $k_i z_r = 0$  para hacer más simple el análisis del sistema de control para la suspensión.

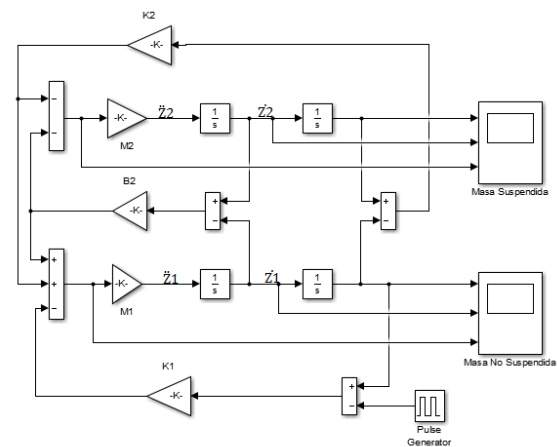


Figura 5. Modelo de suspensión en Simulink

En la figura 5 se muestra el modelo matemático del sistema de suspensión realizado con el programa Simulink de matlab el cual está definido por las

ecuaciones de estado (Durán Acevedo C, Iturriago A X 2012).

#### 4.1 Simulación

se utilizan valores estandar de referencia para hacer la simulación al sistema.



Figura 6. Respuesta de la masa suspendida a una perturbación

En la figura 6 se muestra la simulación con Simulink de matlab del desplazamiento, la velocidad y la fuerza versus el tiempo para la masa suspendida en respuesta a una señal de pulso, para la masa suspendida.

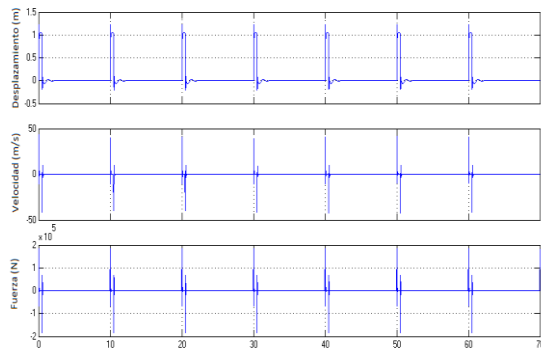


Figura 7. Respuesta de la masa no suspendida a una perturbación

En la figura 7 se muestra la simulación con Simulink de matlab del desplazamiento, la velocidad y la fuerza versus el tiempo para la masa no suspendida en respuesta a una señal de pulso.

#### 5. Conclusiones

Para trabajar sistemas de suspensión y obtener el modelo matemático y la simulación es ideal para entender la dinámica vehicular y el diseño de los controladores. Por medio de las simulaciones

podemos obtener valiosa información de la respuesta del sistema a las perturbaciones del terreno.

De igual forma trabajando con diferentes tipos de controladores podemos concluir cual de ellos es mas adecuado al sistema planteado, en el campo del control el modelo matemático juega un papel muy importante ya que define la estrategia de control a trabajar.

El desarrollo de sistemas de control para suspensiones vehiculares es un campo muy extenso y de mucha aplicación actualmente (Gélvez L F 2012). Crear modelos matemáticos más precisos y que tengan muchas mas variables a consideración son líneas de investigación que están abiertas para el trabajo de suspensiones activas.

#### REFERENCIAS

- Fallah, M., Bhat, R., Xie, W. (2008). New Nonlinear Model of MacPherson Suspension Systems for Ride Control Applications.
- Ogata, K. (2004) Ingeniería de Control Moderna, Prentice Hall, Cuarta edición, Madrid.
- Hurel E, J. (2012) Nonlinear Two Dimensional Modeling of a MacPherson Suspension for Kinematics and Dynamics Simulation. IEEE
- Parra Ortega C, Herrera Vergara J. (2013). Aplicación de los sistemas de detección de intrusos y la tecnología de agentes en el monitoreo inteligente de redes de datos. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 22.
- Torres Clayton J et al., (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Revista colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 22.
- Giovanny Sandoval, Jacobo Tobar Molano, Víctor Hugo Mosquera, Luis Jorge González (2011). Pluviógrafo electrónico con transmisión de datos inalámbrica. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 – Número 17.
- Cristhian M Durán Acevedo, Ali Xavier Iturriago (2012). Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la tecnología ZigBee. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 20.
- Luis Fernando Gélvez R (2012). Aplicación de redes neuronales morfológicas al reconocimiento de vocablos simples. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 – Número 19.