

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE MUELLES Y AMORTIGUADORES DE UN VEHÍCULO LIVIANO

Luna P. Andrés B. AUTOR

Vallejo T. Jhon A. AUTOR

Ing. Ramiro Rosero MSc. Director de Tesis

Resumen – El presente proyecto trata sobre el diseño y construcción de un banco de pruebas de muelles y amortiguadores ; en la primera etapa se implementa un modelo matemático de un sistema muelle amortiguador de ¼ de vehículo en el software MatLab con el objetivo de evaluar los parámetros fundamentales que influyen en el comportamiento del sistema; en una segunda fase se realiza el diseño y el cálculo de la estructura mediante simulación computarizada, seguido de la construcción; finalmente para la adquisición de datos se desarrolla una interface de usuario mediante el software LabView. Es así como se alcanzó el objetivo de proporcionar una herramienta para el aprendizaje y enseñanza del comportamiento mecánico de estos elementos de la suspensión de un vehículo.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema de suspensión constituye un elemento de seguridad activa del vehículo que toman una gran relevancia ya que permite de que el vehículo se desenvuelva en condiciones razonables de estabilidad y

confort para los ocupantes del mismo, se determina que los valores de frecuencia a los que debe trabajar un sistema de suspensión de un vehículo son de 1 a 3 Hz para que cumpla esta condición.

## II. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La implementación de un modelo matemático del sistema masa resorte amortiguador se lo hace mediante el software MATLAB en donde se utilizan distintas herramientas que son proporcionadas por el programa, como son la aplicación GUIDE y el complemento de Simulink, esto con el objetivo de identificar las distintas variables que intervienen en el comportamiento del sistema.

Para representar el movimiento del sistema de masa resorte se parte de la ecuación 1, la cual describe el funcionamiento del mismo:

$$mx'' + bx' + kx = F$$

Ecuación 1: Diferencial de masa resorte amortiguador

$$x'' = \frac{1}{m} (F - bx' - kx)$$

Ecuación 2: Aceleración. Segunda Derivada de la posición

Después de realizar el despeje de la ecuación 1 se obtiene la ecuación 2, donde se determina obtener la aceleración del sistema.

Donde:

- m = masa
- x'' = aceleración
- b = constante del amortiguador
- x' = velocidad
- k = constante elástica del muelle
- x = posición
- F = Fuerza

Los anteriores valores se representan en el diagrama de Simulink, en donde se determina que las entradas del diagrama son los valores de las constantes de los elementos del sistema masa resorte y la salida es la gráfica, en donde se representa la posición del sistema masa resorte amortiguado.

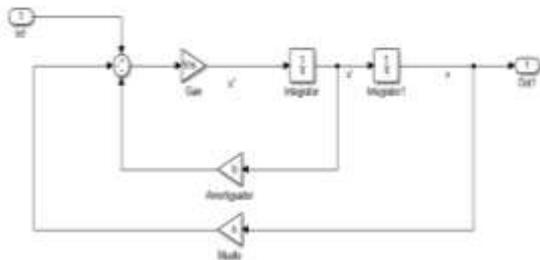


Figura 1 Diagrama del Modelo de ¼ de vehículo en Simulink

Los valores son extraídos de la ventana principal del programa de Matlab, estos valores se los obtiene mediante una investigación sobre las especificaciones de cada elemento, representando en una gráfica idéntica a la de la interpretación de la simulación de la ecuación diferencial de masa resorte amortiguado son:

- (m) masa = 250 kg
- (b) coeficiente del amortiguador = 40 (N/(s/m))
- (k) coeficiente del muelle = 140 (N/m)

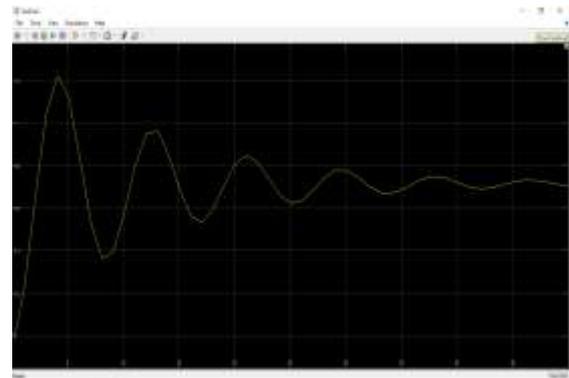


Figura 2 Comportamiento del sistema masa resorte amortiguador en Simulink

Por lo que se obtuvo una gráfica que marcara un desplazamiento del sistema en el eje "y" de 500mm la misma que va disminuyendo hasta el punto de estabilizarse, con un período máximo de 2 segundos, este valor se representa en el eje "x" de la gráfica, estos datos están dentro de los rangos de una frecuencia oscilatoria

### III. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS

Para el diseño y análisis estructural se utilizó el programa SolidWorks 2017, se realiza la representación de la estructura y el análisis de las fuerzas que actúan sobre el banco de pruebas, se desarrollan simulaciones que comprenden esfuerzos, desplazamientos, deformaciones unitarias y cálculo del factor de seguridad.

Estas pruebas de simulación se las realiza determinando los esfuerzos a los que va a estar sometida la estructura, se calculan esfuerzos de 700N en la zona del muelle considerando el peso y la fuerza que ejercerá la gata hidráulica al comprimir los resortes, la zona del amortiguador se somete a una fuerza 80N de acuerdo al peso del motor eléctrico y el mecanismo al cual está conectado.

La figura 3 muestra el esquema del diseño del banco de pruebas en donde se puede visualizar las dos distintas zonas de diagnóstico de muelles y amortiguadores, además se observa los elementos que intervienen en el funcionamiento de los mecanismos asignados para cada zona, como son: gata hidráulica, motor eléctrico, mecanismo biela manivela.

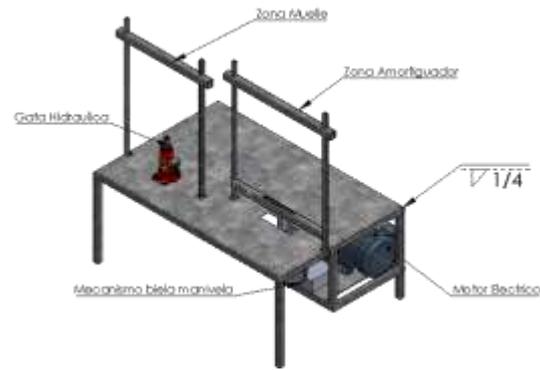


Figura 3 Diseño estructura del banco de pruebas

Para el accionamiento de las pruebas dinámicas y estáticas se determinó la selección de los siguientes componentes bajo parámetros de: posibilidades de adquisición en el mercado, las características y funcionalidades que brinda cada elemento, rangos de medición y tolerancias, además de los conocimientos antes ya adquiridos sobre los mismos.

### **Diseño mecánico para la zona del amortiguador:**

Se ha seleccionado un motor trifásico de 0.7kW, un variador de frecuencia de tres fases, un reductor de velocidad de 1/50. Para la zona del muelle se utiliza una gata hidráulica de 6 toneladas ya que permite ejercer de manera amplia y sin complicaciones suficiente fuerza para comprimir los muelles de un vehículo liviano.

### **Diseño para la adquisición de datos del banco de pruebas**

Para el sistema de adquisición de datos se seleccionan dos celdas de carga de 1000lb y 3000lb con una precisión de 0.12 a 455 kg y 0.27 a 1363 kg para la toma de valores de las fuerzas ejercidas por los componentes.

Para la medición de desplazamiento se utilizan dos sensores de distancias Sharp los cuales tienen rangos de medición que van de 200 a 1500 mm, este a su vez tiene una buena recepción de datos al momento de las pruebas realizadas.

Se implementan dos sensores de final de carrera que sirven para determinar la terminación del proceso para la adquisición de datos, el sensor comprende un interruptor de 12 VCC para el cierre del sistema.

### Diseño del sistema de control

Las placas de los dos sistemas son similares, la única diferencia radica en la placa para el amortiguador se introduce un relé de 5V que permite conducir hasta 10 amperios, para el accionamiento de inicio y parada del variador de frecuencia y este a su vez recibe la señal de la frecuencia a la que está trabajando.

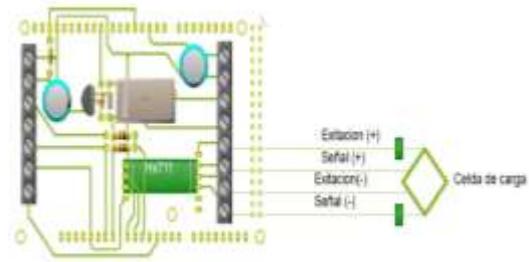


Figura 4 Diseño de las placas

En el desarrollo de la interfase de usuario, se parte del desarrollo de un código de programación que permita determinar las distintas funciones de las cuales se encargaran las placas de Arduino Mega 2560, se destacan características relevantes como los puertos de comunicación que utilizaran como son el COM3 para la zona del amortiguador y el COM4 para la zona del muelle y el valor de baudios a las que trabajaran las mismas que será de 250000.

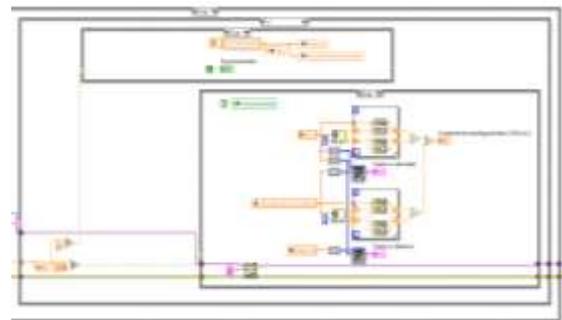


Figura 5 Estructura en el programa Labview

Las interfaces de usuario en el software de Labview cuentan con distintos campos de trabajo que están separados mediante zonas específicas de acuerdo al elemento que intervendrá para la recolección de datos como son el sensor Sharp, la celda de carga

tipo S, el final de carrera y el variador de frecuencia.

En la siguiente figura se manifiesta la interfaz de usuario en la cual se desarrollan las pruebas de los amortiguadores y muelles en donde se puede constatar el valor del coeficiente de amortiguamiento del amortiguador y el coeficiente de compresión del muelle o resorte de vehículos livianos.



Grafica 6 Sistema de adquisición de datos en Labview

La interface cuenta con botones de mando para el inicio y detención de la prueba, así mismo se representan las gráficas en tiempo real los datos obtenidos por los sensores en las pruebas.

**Flujograma principal de accionamiento de las del sistema.** - El sistema del banco de pruebas está diseñado con el objetivo de recolectar y analizar datos durante su funcionamiento, los mismos que luego de ser observados desencadenarán en un conjunto de procesos para dar como resultado de la constante que se desee obtener.

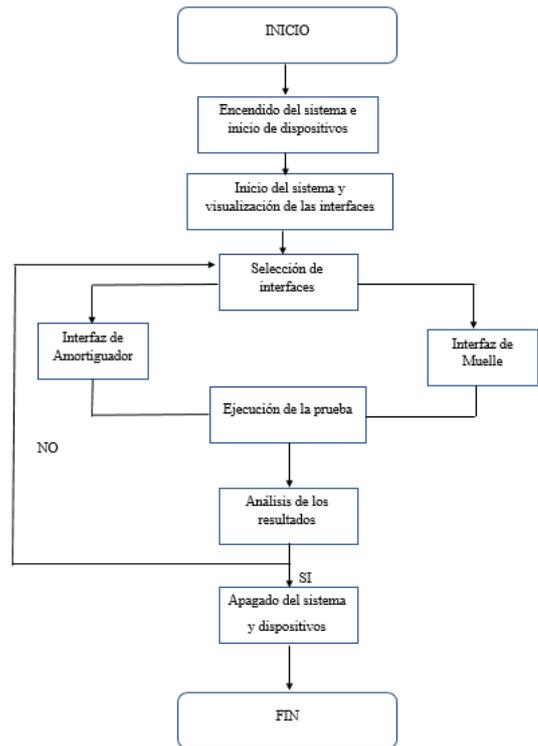


Figura 7 Flujograma de funcionamiento de las Interfaces

El sistema arranca encendiendo y verificando las conexiones del mismo, a continuación, se selecciona la interface a utilizar (muelle o amortiguador), seguidamente se ejecuta la prueba y se analizan los resultados que esta arroje.

#### IV. PRUEBAS REALIZADAS

Para la realización de las distintas pruebas se determinó el uso de 2 amortiguadores marca Gabriel y 2 muelles marca SYD, en este caso se utilizó como vehículo de referencia un Chevrolet Aveo 2012 tipo sedán, se determina que a los amortiguadores se les asigna un número, el número 1 y el número 2, de igual manera los muelles tomaran el número 1 y el

número 2, esto se hace para poder diferenciarlos. Los elementos con el numero dos serán montados en el vehículo en donde estarán por un lapso de 6 meses de trabajo, mientras que los elementos que cuentan con el numero uno se mantendrá las características de fabrica intactas o nuevos.

Figura 8 Banco de pruebas de muelles y



amortiguadores

Pruebas en el amortiguador:

La realización de las pruebas con el amortiguador se tomó en cuenta la fuerza que es aproximadamente entre 20 a 30 Newtons en las que trabaja, esta fuerza se determinó recolectando información del fabricante y la distancia recorrida en los diferentes amortiguadores.

Tabla 1 Especificaciones del Amortiguador

Marca	Gabriel
Fabricado	Colombia
Altura comprimida	500mm
Altura sin comprimir	680 mm
Diámetro de cilindro	41.1mm
Diámetro de varilla del pistón	13 mm

Vehículos en los que se utiliza	Chevrolet Aveo
Tipo de amortiguador	Aceite Mono-tubo

Pruebas en el Muelle

La realización de las pruebas en los mulles se tomaron en cuenta valores como: el número de espiras, el material de construcción, la fuerza necesaria para poder comprimirlos que es de 100 a 120 Newtons, estos datos se los consiguieron mediante las especificaciones que nos entrega el fabricante.

Tabla 2 especificaciones de Muelle

Marca	SYD
Altura	370 mm
Diámetro del muelle	100 mm
Diámetro de espiras	12 mm
Espacio entre espiras	47 mm
Posición	Trasera de vehículo

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Se obtuvo resultados favorables en los cuales se determina tanto el coeficiente del amortiguador (c) que van desde 20 a 50 (N/(m/s)) y el coeficiente del resorte (k) que va desde 100 hasta N/m.

En las pruebas de los amortiguadores nuevos y con seis meses de uso se obtuvieron los siguientes resultados:

- Amortiguador número 1 con un coeficiente C de 42.84 (N/(m/s))
- Amortiguador número 2 con un coeficiente C de 23.09 (N/(m/s))

Se puede evidenciar una disminución de 19.75 (N/(m/s)) con respecto el coeficiente de amortiguamiento. Los rangos de trabajo estables del coeficiente de amortiguamiento son de 20 a 50 (N/(m/s))

En las pruebas de los muelles nuevos y con seis meses de uso se obtuvieron los siguientes resultados:

- Muelle número 1 con un coeficiente k de 140.31 N/m
- Muelle número 2 con un coeficiente k de 133.70 N/m

Se puede evidenciar una disminución de 6.61 con respecto al coeficiente de resistencia k. Los rangos de trabajo estables del coeficiente de resistencia son de 100 a 150 N/m.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El diseño y el cálculo realizado mediante Solidwork comprobó que la estructura del banco de pruebas tiene un factor de seguridad de 1.9 lo que significa que soporta fuerzas externas de superiores a 3600 N,

suficientes para trabajar en rangos exigidos para muelles y amortiguadores de vehículos de hasta 3,5 toneladas PVB.

- La celda de carga tiene un nivel de precisión de 0.03% a 0.25% de escala completa, esto traducido a fuerza es 0.53 N y siendo adecuadas para todo tipo de aplicaciones industriales.
- El motor eléctrico tiene una potencia de 0.7kW que brinda 1750 rpm la cual esta va conectada al reductor de velocidad mediante un mecanismo de poleas que termina disminuyendo el primer valor hasta transforma en 60rpm para el accionamiento del mecanismo biela manivela.
- Los resultados obtenidos por las pruebas realizadas a los amortiguadores indica que existe una disminución del 40% del valor del coeficiente del amortiguador número 2 (usado) con respecto al amortiguador 1(nuevo).
- Los resultados obtenidos por las pruebas realizadas a los muelles indica que existe una disminución

del 5.5% del valor del coeficiente del muelle número 2 (usado) con respecto al amortiguador 1 (nuevo).

- Se determinó que el comportamiento y especificaciones de las distintas marcas de amortiguadores y muelles varían de acuerdo a su fabricante, pero mantienen valores estándar que van desde los (15 a 60) ((N/(m/s)) para el amortiguador y valores que van entre (100 a 150) N/m para el muelle, valores de “k” y “c” que se utilizaron para determinar los rangos de funcionamiento y el estado de los componentes.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del manual de usuario para prevenir cualquier contratiempo en el momento de la ejecución de las distintas pruebas en el banco de diagnóstico de muelles y amortiguadores.
- Se recomienda la utilización del banco de pruebas, con muelles de un vehículo liviano los cuales no superen las medidas establecidas en el banco, en zona donde se realiza la

prueba acepta elementos no mayores a los 150 mm

- Se recomienda realizar las pruebas del banco de muelles y amortiguadores en zonas con suficiente luz ya que los datos obtenidos del sensor SHARP pueden variar en un rango de precisión de 50mm a 100mm.
- Se recomienda que las pruebas en la zona del amortiguador sean de 5 ciclos, ya que la placa de Arduino Mega 2560 tiene un rango de tiempo de 2 segundos para realizar el procesamiento de datos obtenidos por parte de los sensores.
- Se recomienda establecer valores entre 15 a 25 Hz en el variador de frecuencia para que el sistema de recolección de datos pueda hacerlo con eficiencia, ya que si se eleva la frecuencia del mecanismo biela manivela los valores de los datos tendrán un margen de error elevado, que comprometería los valores finales del coeficiente del amortiguador.
- Se recomienda para la manipulación de un sensor Sharp el uso de un

condensador de máximo de 10 microfaradios y mínimo 8 microfaradios ya que permite un mejor procesamiento de datos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, C. V., IZQUIERDO, F. A., & LOPEZ, V. D. (2012). *TEORIA DE LOS VEHICULOS*. ETS INGENIEROS INDUSTRIALES. Arduino. (12 de Enero de 2016). *ARDUINO*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- carlo, J. (11 de Enero de 2014). <http://es.slideshare.net/hawer87/sis-tema-masa-resorte-amortiguador>.
- Dominguez, J. E., & Ferrer, J. (2016). *Circuitos de fuidos, Direccion y Suspension*. Macmillan Profesional.
- Equip, A. t. (2015). *Ryme*. Obtenido de <http://en.ryme.com/>
- Gysen, B., & van der Sande, T. (2011). Efficiency of a Regenerative Direct-Drive. *IEEEEXPLORE*, 1384.
- INSTRUMENTS, N. (17 de Septiembre de 2013). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>
- Lafita, F. (1999). *Introduccion a la teoria de vibraciones mecanicas*. España: Labor.
- mecanica, A. a. (24 de octubre de 2014). *Aficionados a la mecanica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>
- Ogata, K. (2001). *Dinamica de Sistemas*. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericano S.A.
- Reimpell, J., Stoll, H., & Betlzer, J. W. (2011). *The Automotive Chassis: Engineering Principales*. German: Butterworth Heinemann.
- SENPLADES. (2013-2017). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito . Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Republic of Ecuador*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2349.2003.pdf>
- Sportdevices. (2015). *Sportdevices*. Obtenido de <http://www.sportdevices.co.uk/shockabsorber/index.htm>
- System, D. (2016). *Dassult System*. Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/simulation-professional.htm>
- Toro, A. (25 de Octubre de 2012). *MODELADO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE LA ADHESIÓN EN LA EVALUACIÓN EN SUSPENSIONES DE VEHÍCULOS . CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA* , 1141.
- Universitarios, F. P. (17 de Septiembre de 2013). *Fatela*. Obtenido de [http://www.fatela.com.ar/trabajo\\_financial\\_svgga/5pag3.htm](http://www.fatela.com.ar/trabajo_financial_svgga/5pag3.htm)
- Zill, D. G. (2010). *Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado*. Mexico: Cengage learning.