

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA EN MECANICA AUTOMOTRIZ

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO MECANICO
AUTOMOTRIZ

Tema:

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO
DIDACTICO PARA EL ESTUDIO DEL
COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA SE
SUSPENSION SEMI-ACTIVA

Realizado por:

Manuel Santiago Guilacela Guaraca

Marco Vinicio Guachun Sánchez

Felipe Gonzalo Muñoz Arévalo

Director de tesis:

Ing. Paúl Wilfrido Méndez Torres.

Cuenca, Septiembre de 2010

Los conceptos desarrollados, análisis desarrollados y las conclusiones de la presente Tesis, son de exclusiva responsabilidad de sus autores, basados en las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento así como las experiencias personales y profesionales.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su normativa Institucional Vigente.

Cuenca, Septiembre del 2010

.....

Manuel Santiago Guailacela Guaraca

.....

Marco Vinicio Guachun Sánchez

.....

Felipe Gonzalo Muñoz Arévalo

Certifico que bajo mi dirección, la presente Tesis fue desarrollada por los señores:
Marco Vinicio Guachun Sánchez, Manuel Santiago Guilacela Guaraca y Felipe Gonzalo
Muñoz Arévalo.

Cuenca, Septiembre de 2010

.....
Ing. Paúl Wilfrido Méndez Torres.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado para mi mamá Isabel quién me supo apoyar en todo este tiempo y en la memoria de mi papá Gonzalo quien me supo apoyar incondicionalmente mientras se encontraba en medio de nosotros en este mundo, también quisiera dedicar este trabajo a mis hermanos Catalina y Patricio, a mi abuelita Inés quienes han sido un pilar fundamental en mi formación ya que han sabido estar siempre allí para apoyarme incondicionalmente, a toda mi familia y sin olvidarme de los demás a todas las personas que han puesto lo mejor de sí para la culminación de este proyecto.

Felipe G. Muñoz A.

DEDICATORIA

Para las personas que más quiero y admiro, a mis PADRES: Manuel Jesús Guailacela y María Juana Guaraca, con el afecto sublime de mi corazón, porque en lo profundo de mi amor siempre estarán presentes y que en la senda de mi vida sean mi futuro.

A mi esposa, hija, hermanos y familiares, por su apoyo y comprensión.

Manuel S. Guailacela G.

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto de tesis está dedicada a Dios y mis padres. A Dios por darme fortaleza y sabiduría en cada paso que doy. A mis padres, pilares fundamentales a lo largo de mi vida, su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

Marco V. Guachun S.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios prestarme la vida para alcanzar este objetivo, a mis padres Isabel y Gonzalo por su apoyo y esfuerzo brindado a lo largo de mi vida, a mis hermanos Catalina y Patricio, a mi abuelita Inés, a toda mi familia y amigos, a mis profesores por el conocimiento impartido en las aulas de clase, de manera especial para el Ing. Paúl Méndez quien supo guiarnos con paciencia en todo momento en la realización de este trabajo y sin olvidarme de mis amigos Ing. Fabián Romero, Ing. Vladimir Peláez, Ing. Fabián Cabrera, Ing. Paúl Alvarez, Tec. Teodoro Ayora, Ing. Juan Diego Rodríguez con su grupo de colaboradores de DCADD, Ing. Paúl Coronel, Dr. Lucas Galarza y a los compañeros del taller de mecánica automotriz de la universidad que me ayudaron de manera incondicional a lo largo de este trabajo con su conocimiento y su apoyo moral, quisiera terminar estas líneas sin olvidarme de mis entrañables compañeros de aula al Ing. Wilson Chacón, Ing. Xavier González, Andrés Arguello gracias por compartir aquellos momentos de compañerismo en nuestra vida estudiantil.

Felipe G. Muñoz A.

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinita bondad y amor, que me ha permitido ser lo que ahora soy.

Al profesor ING. PAUL MENDEZ, porque puso todo de su parte para la realización de esta tesis.

Manuel S. Guailacela G.

AGRADECIMIENTO

A cada uno de los que son parte de mi familia en especial a mis padres y mis hermanos; quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica. A todos mis tíos; por haberme brindado siempre el apoyo incondicional. A los Cuervos, los mejores amigos del mundo. Por último, a mis compañeros de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado

Marco V. Guachun S.

Una persona nunca olvida sus sueños, si lo hemos hecho es porque no tenemos metas o sueños por alcanzar o simplemente hemos dejado de existir.

Anónimo

Prólogo

Desde que nació la era moderna en los vehículos las grandes empresas fabricantes de vehículos han realizado grandes esfuerzos por desarrollar nuevos sistemas de seguridad y de rendimiento del vehículo, uno de los sistemas en los que se han realizado avances sumamente importantes es en el sistema de suspensión, cabe recalcar que el sistema de suspensión no solo es un sistema que trata de evitar que el mal estado de la carretera se transmita a los pasajeros que se encuentran en el vehículo si no que la misma debe de proporcionar estabilidad al vehículo en todo momento de su marcha por cualquier tipo de carretero pero sin olvidar la comodidad del pasajero es por eso que los diseñadores han inventado un tipo de suspensión que cambie su estado de dureza para adaptarse a las condiciones del camino, mantener una buena estabilidad del vehículo y para mantener el confort en los pasajeros.

El presente trabajo se ha enfocado en un sistema de suspensión muy particular a la que se conoce como suspensión semi-activa que como mencionamos posee la particularidad que cambia su estado en base a las condiciones del camino, este tipo de suspensiones se encuentran colocado en algunos modelos especiales de casas fabricantes de vehículos ya que por su complejidad de fabricación y costo del sistema de suspensión no se los encuentra en vehículo estándar que circulan, por lo que el presente trabajo en sus inicios hace referencia al estudio de un sistema de suspensión semi-activa, en donde tratamos de referenciar ¿Qué es un sistema semi-activo? Y cuál es la diferencia con un sistema pasivo, el sistema de suspensión pasivo es un sistema que se encuentra en la mayoría de los vehículos que circulan en nuestro país, también hemos tratado de realizar un análisis

de su comportamiento en base a métodos y análisis matemáticos antes de introducirnos al objetivo del presente trabajo que es la construcción de un Banco Didáctico de pruebas.

En la etapa de construcción del mismo analizamos distintos elementos los cuales formaron parte de la construcción del mismo como son elementos de accionamiento, elementos de control y elementos de adquisición de datos, para la instancia de la adquisición de datos hemos utilizado el software LabVIEW para adquirir las distintas señales de sensores y controlar ciertas instancias funcionales del sistema de suspensión, el diseño, la construcción del banco se la realizó en base a un sistema de suspensión de un vehículo que circula por las vías de nuestro país el cual es de un Nissan Pathfinder R50 el cual posee un sistema independiente tipo McPherson en la parte delantera con un sistema de amortiguadores regulables y por último realizaremos pruebas de funcionamiento tanto de la parte funcional del banco de pruebas como del sistema de suspensión para ver la forma de funcionamiento de este sistema y ver la influencia que entrega este sistema de suspensión.

Por último esperamos que este humilde trabajo que se lo realizó con mucha entrega y sacrificio sea de utilidad para los lectores del presente trabajo y esperamos que en ellos nazca una de las características más fundamentales del hombre que es la curiosidad y realicen investigaciones y pruebas mucho más profundas que el alcance de este trabajo ya que este hermoso campo Automotriz seguirá creciendo a pasos agigantados dotando al vehículo de mejores implementos para su uso seguro y confortable para los seres humanos.

Marco V. Guachun S.

Manuel S. Guilacela G.

Felipe G. Muñoz A.

INDICE

CAPITULO 1 ESTUDIO DEL SIETEMA DE SUSPENSION SEMI-ACTIVA

1.0	Introducción.....	2
1.1	Generalidades.....	2
1.2	Tipos de suspensiones.....	3
1.2.1	La suspensión pasiva.....	4
1.2.2	La suspensión semi-activa.....	4
1.3	Suspensión Hidractiva.....	7
1.3.1	Alimentación hidráulica.....	10
1.3.2	Constitución hidráulica de la suspensión.....	10
1.3.3	La electroválvula de control.....	12
1.4	Suspensión auto niveladora.....	15
1.5	Suspensión de amortiguación pilotada.....	15
1.6	Suspensión de amortiguación pilotada “automática”.....	16
1.7	Suspensión de amortiguación pilotada “automática”.....	16
1.7.1	Componentes del sistema.....	18
1.7.2	Amortiguadores pilotados.....	20
1.7.3	El calculador electrónico.....	22
1.8	Suspensión activa.....	23

CAPITULO 2 DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO DE LA SUSPENSION SEMI-ACTIVA.

2.0	Introducción.....	27
2.1	Desarrollo del modelo matemático de la suspensión semi-activa.....	27

2.2	Modelo dinámico de un cuarto de vehículo.....	30
2.3	Determinación de los coeficientes.....	36
2.3.1	Determinación del coeficiente K del muelle.....	38
2.3.2	Determinación del coeficiente R del amortiguador.....	45
2.4	Función de transferencia.....	48
2.5	Análisis de resultados.....	56
2.6	Análisis matemático del modelado del sistema de suspensión de dos grados de libertad referente a ¼ de vehículo.....	57

CAPITULO 3 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL BANCO DE SUSPENSION SEMI-ACTIVA

3.0	Introducción	78
3.1	Requerimientos de diseño del banco.....	78
3.2	Generación de prototipos.....	81
3.3	Diseño conceptual.....	82
3.4	Propuesta de diseño de la estructura básica.....	83
3.5	Propuesta de diseño del sistema de generación de movimiento...85	
3.5.1	Generación de movimiento.....	86
3.5.1.1	Utilización de un sistema hidráulico.....	86
3.5.1.2	Utilización de un sistema neumático.....	87
3.5.1.3	Utilización de motores eléctricos.....	88
3.5.2	Transmisión de movimiento.....	90
3.5.3	Mecanismo de accionamiento de la mesa de oscilaciones.....	96
3.6	Generación de un diseño preliminar.....	98
3.7	Selección de implementos a colocarse en el banco de pruebas para su funcionamiento.....	102
3.8	Propuesta final del banco de pruebas.....	125
3.9	Dimensionado general del banco de pruebas.....	129

3.10	Materiales a utilizarse y análisis estructural.....	130
3.10.1	Análisis estructural.....	132
3.11	Construcción del banco.....	141
3.12	Instalación del variador de frecuencia y puesta en funcionamiento.	143
3.13	Adquisición de datos.....	153

**CAPITULO 4 REALIZACIÓN DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE
LabVIEW**

4.0	Introducción.....	155
4.1	Análisis previo a la adquisición de datos.....	156
4.2	Determinación del sensor o transductor a utilizarse.....	160
4.2.1	Construcción del sensor y análisis de resultados con la utilización de un LDR.....	164
4.2.2	Análisis de resultados.....	173
4.2.3	Construcción del sensor y análisis de resultados con un fototransistor.....	173
4.2.4	Análisis de resultados.....	177
4.3	Utilización de un sensor a base de un sistema infrarrojo.....	178
4.4	Comunicación con el computador y representación de datos.....	181
4.5	Creación de un programa para graficar oscilaciones de un sistema de suspensión en LabVIEW.....	187
4.6	Creación de un programa para controlar un motor de accionamiento de la válvula de amortiguación.....	192
4.7	Creación de un programa contarrevoluciones en el LabVIEW...	202

CAPITULO 5 PUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.0	Introducción.....	215
5.1	Pruebas de funcionamiento.....	215
5.1.1	Pruebas del sistema electrónico.....	222
5.1.2	Pruebas de los sensores.....	223
5.1.3	Presentación del programa de control final.....	225
5.2	Instrucciones iniciales.....	229
5.3	Pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.....	231
5.4	Conclusiones.....	237
5.5	Recomendaciones.....	238

ANEXOS

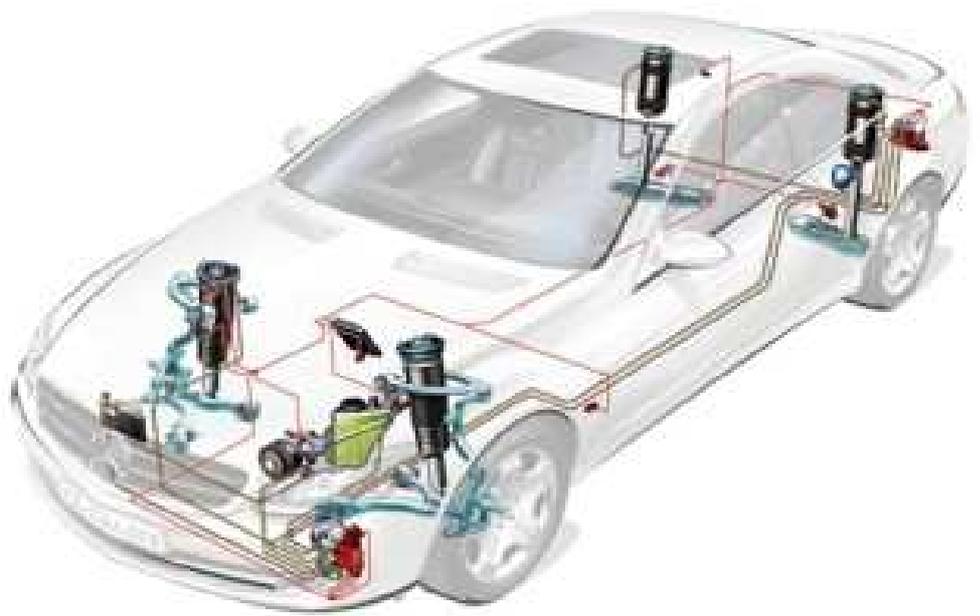
APENDICE A

APENDICE B

BIBLIOGRAFIA

ESTUDIO DE LA SUSPENSION SEMI-ACTIVA

CAPITULO 1



CAPITULO 1

ESTUDIO DE LA SUSPENSION SEMI-ACTIVA

1.0 INTRODUCCION

Con el objeto de realizar el desarrollo del presente trabajo sin haber todavía colocados parámetros que definan el banco de suspensión semi-activa, se pretende comenzar realizando un análisis teórico de donde parten este tipo de sistemas y sobre todo la de definir en sí que es un sistema de suspensión semi-activa la cual solo se encuentran instalados en ciertos modelos que no son muy comunes en el mercado local por lo que este capítulo definiremos el concepto de una suspensión semi-activa y algunos modelos de suspensiones los cuales son variados, revisaremos a breves rasgos lo que es un sistema de suspensión netamente activa y abordaremos de cierto modo una comparación de un sistema pasivo con el sistema semi-activo.

1.1 GENERALIDADES

La suspensión de un vehículo tiene como cometido “absorber” las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza, a la vez que mantiene las ruedas en contacto con el pavimento, proporcionando un adecuado nivel de confort y seguridad de marcha. Se puede decir que sus funciones básicas son las siguientes:

- Reducción de fuerzas causadas por irregularidades del terreno.
- Control de la dirección del vehículo.
- Mantenimiento de la adherencia de los neumáticos a la carretera.
- Mantenimiento de una correcta alineación de las ruedas.
- Soporte de la carga del vehículo.
- Mantenimiento de la altura óptima del vehículo.
- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor.
- Resistir el par motor y de frenada
- Resistir los efectos de las curvas
- Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido
- Conservar el paralelismo entre los ejes y la perpendicularidad del bastidor
- Proporcionar una estabilidad adecuada al eje de balanceo
- Aguantar la carga del vehículo

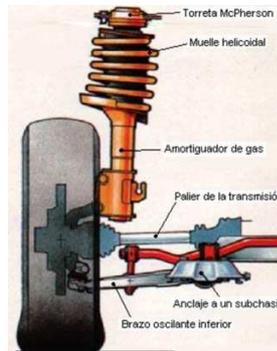


Fig. 1 Imagen de un sistema de suspensión independiente tipo McPherson. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

En la imagen anterior podemos apreciar la forma de un sistema de suspensión independiente con las partes que conforman la misma, cuando el vehículo circula por un terreno irregular, las ruedas están sometidas a una serie de impactos que se transmiten a la carrocería a través de los elementos de unión. Si el terreno es llano, las pequeñas irregularidades del mismo son absorbidas por la elasticidad de los neumáticos.

1.2 TIPOS DE SUSPENSIONES

La elección de tarado en una suspensión convencional supone un difícil compromiso entre el confort y la estabilidad del vehículo. Cuanto más dura sea la suspensión, aumentará la estabilidad del vehículo pero disminuirá el confort. Al contrario con una suspensión blanda aumenta el confort pero disminuye la estabilidad. Por esta razón hay vehículos en los que por sus condiciones de utilización disponen de tarados blandos que absorben al máximo las oscilaciones debido a las irregularidades del terreno y en cambio hay otros que por su conducción más deportiva optan por tarados duros que dotan al vehículo de una mayor estabilidad sobre todo en curvas y altas velocidades. Lo ideal de una suspensión sería que se pueda adaptar a las condiciones del terreno o a las preferencias del conductor. Las suspensiones se pueden clasificar:

- La suspensión pasiva
- La suspensión semi-activa
- La suspensión activa

1.2.1 LA SUSPENSÓN PASIVA

La suspensión pasiva corresponde a las suspensiones convencionales y son las más utilizadas actualmente en vehículos pequeños y medios. Estas suspensiones poseen sus características de amortiguamiento en todas las condiciones de funcionamiento del vehículo (condiciones del carretero), las partes constitutivas de un sistema de suspensión pasiva son de un muelle-amortiguador en otro tipo de caso el uso de una ballesta, barras de torsión, brazos de suspensión, bieletas de empuje, barra estabilizadora y los silentbloccs.



Fig. 2 suspensión pasiva (Fuente de la imagen [www.mecanicvirtual.org-
www.tecnun.es/automocion](http://www.mecanicvirtual.org-
www.tecnun.es/automocion))

1.2.2 LA SUSPENSÓN SEMI-ACTIVA

Mediante el empleo de sistemas regulados se permiten variar los mecanismos de suspensión y amortiguación para adaptarlos a necesidades de uso deportivo o confort. Este tipo de suspensiones utilizan componentes regulables que pueden estar asistidos por la electrónica: sensores, módulos electrónicos entre otros elementos electrónicos la capacidad de este tipo de sistemas es que la regulación se la puede realizar de una forma automática o en ciertos casos por medio de comandos a exigencias de conductor. Estos sistemas se denominan "semi-activos" y no necesitan de canal externo de energía. El

sistema permite controlar vibraciones en un rango de frecuencias de hasta 3-5 Hz, que corresponden al balanceo en curva y cabeceo durante la frenada, principalmente. En rangos de frecuencias más altas el actuador se bloquea dejando en funcionamiento, únicamente, el muelle y el amortiguador, es decir, el nuevo conjunto se transforma en un sistema de suspensión pasiva, la diferencia de un sistema con el otro es que posee la capacidad de cambiar el estado de dureza del mismo.



Fig. 3 esquema elemental de una suspensión semi-activa. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org-www.tecnun.es/automocion)

La característica principal es que se puede variar las características mecánicas de los elementos que componen el sistema de suspensión por medio de actuadores eléctricos-electrónicos, a lo que hacemos referencia es que se puede variar en primera instancia las características del amortiguador por medio de electroválvulas, la variación del amortiguador es con respecto a su coeficiente de amortiguamiento, otro de los parámetros que se pueden variar pero ya no en una forma regulable sobre la marcha del vehículo en carretera es el muelle, con la utilización de muelles con deformación progresiva o los muelles en forma cónica también llamados muelles con deformación variable.

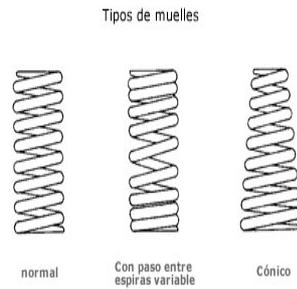


Fig. 4 Diferentes tipos de muelles utilizados en vehículos. (Fuente de la imagen BRUÑO EDEBE, Tecnología de la Automoción 2.3)

Al momento de realizar una clasificación de un sistema de suspensión semi-activa existen algunas discrepancias que se desarrollan las cuales hacen referencia a que existen algunos sistemas que bien algunos autores no lo consideran como un sistema semi-activos ya que parten de sistemas más básicos (muelle-amortiguador regulable) que otros sistemas que son considerados semi-activos con sistemas mucho más complejos pero en sí con el mismo principio de funcionamiento, la variación del coeficiente de amortiguación se da por medio de variación de unos calibres de amortiguación que se encuentran en el amortiguador por medio de electroválvulas este tipo de sistema se lo puede apreciar en las Suspensiones autonivelantes y las Suspensiones pilotadas, más adelante veremos un sistema mucho más complejo de sistema de suspensión semi-activa. Este tipo de suspensiones que hemos mencionado anteriormente realizan la variación de sus características mecánicas cuando el vehículo se encuentre en marcha y si partimos que este tipo de suspensiones tiene la característica de variar sus condiciones de funcionamiento sin que se reemplace alguno de sus elementos se la puede considerar un sistema semi-activo. Por otra parte el tipo de suspensión que las consideran semi-activas tenemos:

- Suspensión Hidractiva

Este tipo de suspensión la describiremos a continuación partiendo desde la que es considerada como sistemas de suspensión semi-activa hasta desarrollar las que en cierta forma no son consideradas como semi-activas

1.3 SUSPENSIÓN HIDRACTIVA.

La suspensión Hidractiva es el desarrollo de la casa Francesa Citroën, este tipo de suspensión es la evolución del sistema de suspensión Hidroneumática que es un tipo de suspensión mecánica la cual mezcla la neumática e hidráulica para controlar su funcionamiento.

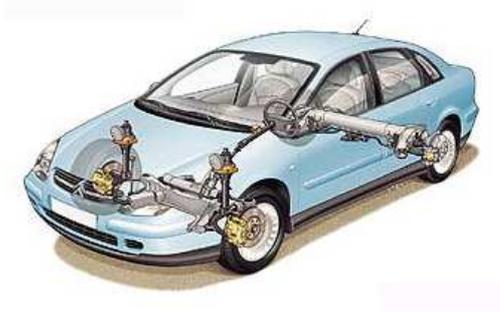


Fig. 5 Imagen de un vehículo Citroën C5 posee un sistema de suspensión Hidractiva.

(Fuente de la imagen www.km77.com)

Esta suspensión se caracteriza por la posibilidad de obtener dos suspensiones en una, al permitir la utilización de una suspensión confortable y cambiar a una suspensión más rígida cuando las condiciones de marcha así lo precisen. Estos dos estados de conducción: confort y sport son escogidos por un calculador que se encarga de transmitir las órdenes necesarias después de recibir por medio de unos sensores la información del estado de marcha.

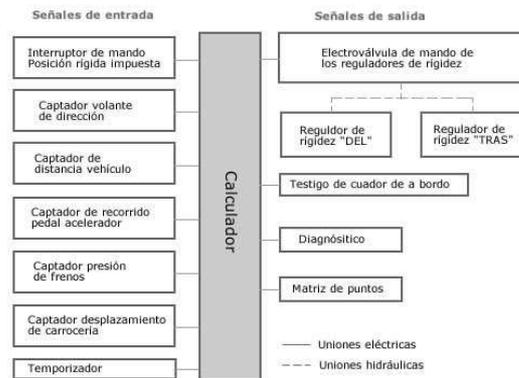


Fig. 6 Esquema electrónico del sistema (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

Como se puede apreciar la figura anterior tenemos un diagrama de bloques de las distintas funciones electrónicas que puede realizar el computador para variar las condiciones de funcionamiento del sistema de suspensión hemos partido desde este punto para realizar un análisis de cómo se diferencian estos sistemas.

1. **Interruptor de mando:** permite al conductor imponer la posición sport, es decir la posición del estado rígido. Cuando el botón está en esta posición, el calculador deja de activar la electroválvula cuando la velocidad del vehículo supera los 30 km/h.
2. **El captador del volante de la dirección:** se encarga de generar señales que permitirán definir el ángulo y la velocidad del volante. Cuando el calculador recibe estas señales las compara con los valores de umbral que guarda en memoria y varían con la velocidad del vehículo. Cuando estos valores son superiores, ordena el paso al estado rígido.
3. **El captador de distancia:** permite al calculador definir la velocidad del vehículo. Está compuesto por una sonda y unainterface que calcula y determina

la aceleración del vehículo deduciendo de ésta la velocidad con respecto al tiempo; es decir que mide la variación de la velocidad por segundo.

4. **El captador del recorrido del pedal del acelerador:** se encarga de dar a conocer la posición del pedal de acelerador. Está constituido por una resistencia variable cuyo cursor es mandado por el pedal. El calculador toma las variaciones bruscas del pedal de aceleración para comandar el paso al estado o posición "rígida".

5. **El captador de presión de frenos:** informa de una presión de frenada superior al valor de referencia. Consta de un monocontacto cerrado en reposo hasta que llega a una presión de frenado mayor de 35 bares en que queda abierto. En este caso, y a una velocidad superior de 30 km/h, el calculador ordena una posición rígida para que evite las variaciones del asentamiento longitudinal debidas a desplazamientos de masas.

6. **Captador del desplazamiento de la carrocería:** permite definir la altura de la carrocería y los desplazamientos de la suspensión. Se trata de un captador óptico-electrónico formado por emisores y receptores ópticos entre los que se desplaza una corona fónica unida a la barra estabilizadora. La rotación de ésta es captada por el elemento óptico. El calculador toma en cuenta la amplitud y la velocidad de los desplazamientos de la carrocería para evitar la desestabilización del vehículo cuando, por ejemplo, pasa por un badén.

1.3.1 Alimentación Hidráulica.

El circuito hidráulico de alimentación se compone fundamentalmente de un depósito de plástico con filtro de aspiración y un grupo de alta presión que integra una bomba de alta presión, el conjunto-disyuntor y una válvula de seguridad. La bomba de alta presión es una bomba volumétrica de seis pistones radiales que son accionados por una excéntrica. La bomba es arrastrada por una correa desde el cigüeñal del motor y da presión (170 ± 5 bares) a todos los órganos del vehículo que son asistidos de forma hidráulica: suspensión, frenos y dirección. La válvula de seguridad conserva la presión suficiente en el circuito de frenos, aisándolo en caso de fuga del circuito de la suspensión (80 a 100 bares de presión de apertura).

1.3.2 Constitución hidráulica de la suspensión

El sistema de suspensión está compuesto por seis esferas, de las cuales cuatro están asociadas cada una a una rueda mediante un amortiguador, tal como ocurre en una suspensión hidroneumática convencional. Las otras dos esferas son suplementarias, una para cada tren. Estas dos esferas, de unos 400 cc cada una, tienen como misión asegurar una reserva de presión en el circuito hidráulico. Estas esferas de chapa embutida están provistas de dos cámaras independientes separadas por una membrana de elastómero. El sistema incorpora dos reguladores de rigidez, uno por eje y de una electroválvula. La electroválvula permite accionar hidráulicamente los reguladores de rigidez en función de la información eléctrica que recibe de la unidad electrónica de control (calculador).

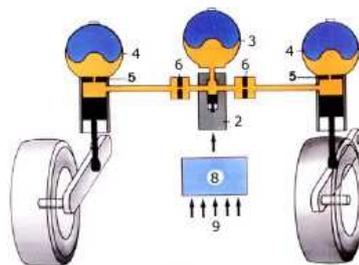


Fig. 7 Esquema de una suspensión Hidractiva (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

En la imagen anterior se puede apreciar la forma que se encuentra constituida una suspensión Hidractiva con las esferas una en cada rueda y la central como se ha mencionado anteriormente.

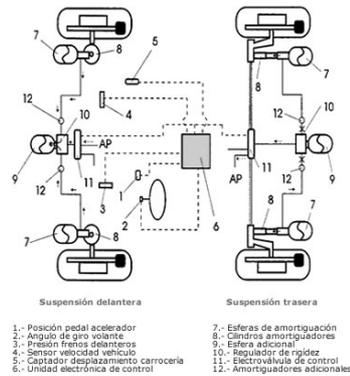


Fig. 8 Esquema del grupo electro-hidráulico (Fuente de la imagen

www.mecaicavirtual.org)

En la figura 8 se muestra un esquema de funcionamiento de la suspensión Hidractiva para ambos ejes. El control de este tipo de suspensiones la realiza el computador tomando los datos de distintos sensores, pero la función que realiza con la toma de señales de distintos sensores es la de realizar el accionamiento de electroválvulas para permitir la entrada y salida de presión hidráulica. Ahora partimos del esquema general del sistema ya que hemos establecido en cierta forma los controles y señales electrónicas que necesita el sistema para controlar los elementos mecánicos. Los cinco parámetros que se enumeran primeramente son los datos necesarios para que el computador pueda realizar el control del sistema de suspensión, los parámetros electrónicos son los siguientes:

- 1 posición del pedal acelerador
- 2 ángulo de giro del volante de dirección
- 3 presión de los frenos delanteros
- 4 velocidad del vehículo
- 5 oscilaciones de la suspensión delantera

Estos parámetros informan a la unidad electrónica de control (6) en todo momento la forma que ella determina si el estado de la suspensión debe tener mayor o menor dureza. A partir de determinados ángulos de giro, alta velocidad, fuertes frenadas o aceleraciones e inclinación de la carrocería (por ejemplo en curvas), la unidad de control decide pasar de un tarado blando y confortable a uno más firme y seguro. En cada tren, la esfera adicional (9) está conectada con los amortiguadores de cada rueda (8), a través de cada esfera de rueda (7). Esta conexión se realiza a través de un regulador de dureza o rigidez (10) que incluye un distribuidor de presión que recibe el líquido de una electroválvula (11).

1.3.3 La electroválvula de control.

En cada eje hay una electroválvula, acoplada al regulador de rigidez, a la que la llega una información eléctrica enviada por el computador que la transmite al regulador de rigidez el cual indica el paso de un estado a otro de la suspensión.

La electroválvula tiene dos posiciones:

- **Posición de reposo y retorno al depósito:** el bobinado no recibe alimentación eléctrica. La aguja se mantiene sobre su asiento por acción del muelle y la utilización está comunicada con el depósito. Corresponde a la posición firme de la suspensión.
- **Posición activada y alimentación de alta presión:** el bobinado recibe alimentación eléctrica y la aguja cierra el retorno al depósito, comunicando la alta presión con la utilización. Corresponde al reglaje elástico de la suspensión.

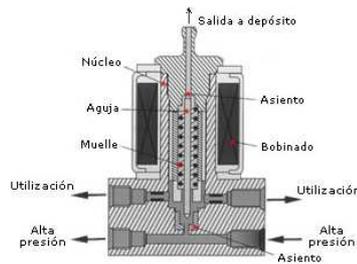


Fig. 9 Esquema de una electroválvula (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

En la figura 9 podemos ver un esquema de la forma de la electroválvula y los dos estados de funcionamiento de la suspensión Hidractiva, mullido o blando y rígido.

a) Estado blando: en el tren delantero podemos ver el funcionamiento de la suspensión en este estado. Cuando la unidad de control recibe las señales de los cinco sensores, determina que es apropiada una suspensión de tarado blanda, entonces manda una señal eléctrica a la electroválvula, de forma que la alta presión (AP) del circuito hidráulico llega al regulador de dureza y empuja el distribuidor interno de presión de este regulador. De esta forma se ponen en contacto las dos esferas (una de cada rueda) con la esfera adicional a través de unos amortiguadores adicionales. El resultado es que el líquido sale del conjunto esfera-amortiguador de cada rueda para expandirse en la esfera adicional a costa de perder presión y por lo tanto de obtener una menor dureza en el tarado de los amortiguadores.

b) Estado rígido: en el tren trasero podemos ver el funcionamiento de la suspensión en este estado. Cuando la unidad de control determina, a partir de los parámetros obtenidas de las condiciones de marcha, que la suspensión debe tener un tarado duro. Para ello corta la alimentación a la electroválvula y como consecuencia produce un desplazamiento de los distribuidores de presión de los reguladores de dureza de forma que cada una de las esferas de rueda queda aislada de la esfera adicional. Además, se interrumpe la conexión hidráulica entre

las esferas de rueda de cada eje de forma que cada esfera queda totalmente incomunicada pudiendo desplazarse el líquido tan solo entre la esfera y el amortiguador. Con ello se consigue un endurecimiento de la suspensión.

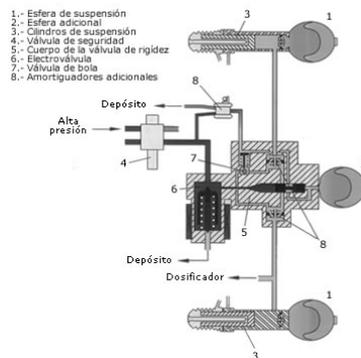


Fig. 10 Esquema de funcionamiento de regulación de rigidez. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org.)

En la imagen anterior se puede ver un esquema funcional de los dos estados que posee este tipo de suspensión y la forma que se realiza el control de las misma, en el tablero de mandos del vehículo se dispone de un interruptor que permite seleccionar entre dos tipos de marcha "Confort" y "Sport". La regulación de la dureza de la suspensión es automática en cada una de las modalidades pudiendo pasar a la posición "Confort" a la "Sport" en centésimas de segundo en caso de necesidad.

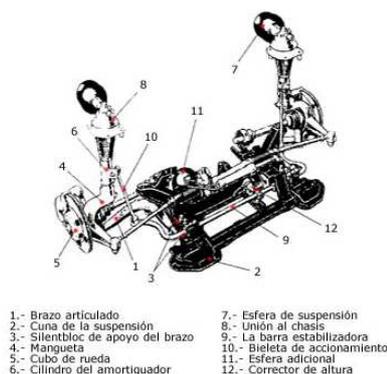


Fig. 11 Esquema del tren delantero de la suspensión Hidractiva (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org.)

En la figura 11 se muestra el tren delantero de una suspensión Hidractiva. Se trata de una suspensión independiente de tipo "falso" McPherson con brazo inferior triangular, elementos hidroneumáticos de flexibilidad y amortiguación, y barra estabilizadora, el principio de funcionamiento es el mismo que se pudo describir sobre la suspensión posterior posee elementos de control eléctrico que son comandados por el CPU. Como se pudo describir este sistema considerado un sistema semi-activo no posee un muelle helicoidal como un sistema común de suspensión la cual en un principio se estableció la característica principal del sistema, pero en lugar del común muelle helicoidal en la esfera de suspensión como se detalló anterior mente posee una cámara de gas la cual hace a su vez de un muelle helicoidal.

Hay otra manera de clasificar las suspensiones de la que se mencionó anteriormente a las que también son conocidas como autonivelantes y pilotadas (inteligentes). Actualmente existen una gran gama de suspensiones de este tipo que ofrecen distintos niveles de rigidez en sus suspensiones, actuando sobre los amortiguadores, en función del tipo de conducción del conductor y del firme del trayecto. Como se menciona anteriormente se establecieron dos tipos de suspensiones más las cuales eran:

1.4 Suspensión auto niveladora: mantiene una altura de carrocería constante en cualquier trayecto y de forma independiente a la carga del vehículo. Actúa sobre la suspensión trasera. De este tipo existen suspensiones hidráulicas y neumáticas.

1.5 Suspensión de amortiguación pilotada "manual": en la que unas electroválvulas (válvulas de rigidez) modifican los pasos calibrados internos de los amortiguadores permitiendo hasta tres tipos de tarados distintos, suave, medio y firme. El cambio de un tipo a otro lo realiza el conductor por lo que la rigidez de la suspensión no se adapta de forma continua a las condiciones de marcha.

1.6 Suspensión de amortiguación pilotada "automática": en este caso el control de la suspensión la realiza una centralita electrónica, que a partir de los datos obtenidos de unos sensores, actúa sobre las electroválvulas (válvulas de rigidez) para endurecer o hacer más suave la suspensión. El conductor tiene la opción de cambiar el modo de suspensión de "AUTO" a "MANUAL".

Los sistemas de suspensión auto niveladora a cambio de la pilotada manualmente, es considerada como un sistema pasivo ya que la regulación del nivel de la misma no se la realiza en base a la carga que gravita sobre el eje y mas no realiza un cambio de característica de amortiguamiento por medio de elementos mecánicos a voluntad del conductor, el tipo de suspensión pilotada manual a pesar de ser un tipo de suspensión sumamente básica le hemos considerado un sistema de suspensión semi-activo ya como hemos mencionado podemos cambiar las condiciones de amortiguamiento con el vehículo en marcha. Por otro lado la pilotada automática es la evolución de la pilotada este tipo de suspensión tiene la capacidad de controlar el estado de amortiguación de sus elementos de suspensión basándose en elementos de suspensión pasiva como son el muelle-amortiguador regulable pero basándose en valores que entregan sensores a un computador el cual determina el estado del amortiguador.

1.7 SUSPENSION DE AMORTIGUACION PILOTADA "AUTOMATICA"

En la década de los años 80 llegaron al mercado los primeros sistemas de regulación electrónica de los amortiguadores. Entonces se trataba de variaciones manuales por medio de electromotores. Estos sistemas fueron sustituidos por rápidos sistemas electromagnéticos con diferentes niveles de amortiguación. Simples reguladores de valores límite, también llamados reguladores adaptativos, se encargaban de seleccionar según la situación de marcha, entre dos y tres características diferentes de amortiguación (suave, media y firme). El cambio de un modo a otro lo realiza el conductor por lo que la rigidez de la suspensión no es continuamente variable. Los

desarrollos posteriores condujeron a los actuales sistemas de regulación electrónica de tercera generación que incorporan válvulas de Control Continuo de la Amortiguación (Continuous Damping Control - CDC). Estos sistemas se pueden adaptar de forma óptima a los criterios principales de la regulación de la amortiguación del vehículo, es decir una buena amortiguación del chasis, una reducida variación de la carga sobre la rueda y un buen aislamiento del chasis en caso de ligeros baches. Esta suspensión cuya característica principal es que varía la dureza de los amortiguadores por medio de unas válvulas de rigidez (electroválvulas) que son controladas a su vez por una centralita electrónica.

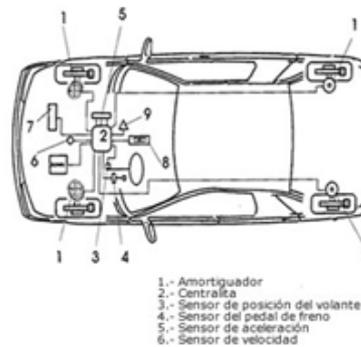


Fig. 12 Esquema del sistema de amortiguación pilotada (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

En la figura anterior se muestra un esquema de este tipo de suspensión, donde tenemos los amortiguadores (1), tanto delanteros como traseros, que están controlados por una unidad electrónica de control (2) que se alimenta de la información registrada a partir de una serie de sensores. Estos sensores miden parámetros como la posición y velocidad de giro del volante (3), la posición del pedal del freno (4), la aceleración vertical, longitudinal y transversal (5) mediante acelerómetros y la velocidad del vehículo (6)". El paso de un modelo de suspensión blanda a duro o viceversa depende de ciertos factores. La unidad de control puede ordenar el paso de una suspensión blanda y confortable a

una suspensión más dura en situaciones donde prima la estabilidad del vehículo. Estas situaciones son:

- Un giro brusco o a alta velocidad el sensor del volante (3) capta un movimiento rápido de este o el acelerómetro transversal (5) registra una fuerte aceleración centrífuga debida a la alta velocidad de paso de curva.
- Aceleraciones fuertes registradas por el acelerómetro longitudinal (5).
- Frenadas fuertes detectadas por el sensor de pedal de freno (4) unido a la del acelerómetro longitudinal (5).
- Fuertes oscilaciones verticales debidas al estado irregular del pavimento registradas por el acelerómetro longitudinal (5).
- Altas velocidades detectadas por el captador de velocidad (6).
- Variaciones importantes de tracción entre las ruedas registradas por la unidad de control de tracción que informa a la unidad de control de suspensión.

La unidad de control cambia a un tarado blando de la suspensión cuando las situaciones anteriores dejan de suceder. Es decir cuando los sensores captan los parámetros de velocidad y aceleración dentro de unos valores que ya lleva establecidos la unidad de control. La elección entre una suspensión de tipo confortable (suspensión blanda) y deportiva (suspensión dura) se puede hacer de forma manual por medio de un mando en el salpicadero. De forma manual y mediante un conmutador en el cual el conductor puede cambiar entre los dos tipos de suspensión. Completa el sistema una luz testigo en el tablero del vehículo que informa de la elección de suspensión dura o blanda.

1.7.1 Componentes del sistema

El sistema está compuesto por cuatro amortiguadores específicos, dotados de electroválvulas gobernadas por un calculador electrónico, en función de las informaciones que recibe de distintos sensores los cuales detallamos a continuación:

- velocidad del vehículo, a través de un captador.
- activación del freno por el captador.
- aceleraciones longitudinal, transversal y vertical, por medio de los captadores o acelerómetros.

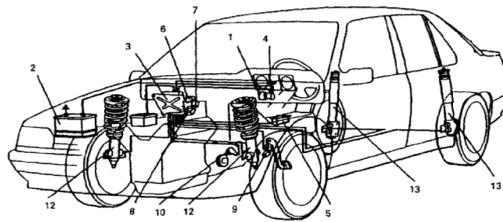


Fig. 13 Componentes del sistema. (Fuente de la imagen ALONSO PÉREZ, José Manuel
Técnicas del automóvil: Chasis)

En la imagen anterior podemos observar los componentes tanto mecánicos como electrónicos que intervienen en el funcionamiento del sistema de suspensión los cuales procedemos a enumerarlos y estos son:

- 1 llave de contacto
- 2 batería
- 3 calculador electrónico
- 4 lámpara testigo
- 5 señalización
- 6 captador de aceleración
- 7 captador de aceleración
- 8 captador de aceleración
- 9 captador del freno
- 10 captador de velocidad del vehículo

- 12 amortiguadores regulables delanteros
- 13 amortiguadores regulables traseros

1.7.2 Amortiguadores pilotados

El amortiguador está compuesto básicamente por dos cámaras A y B que están conectadas por unos pequeños orificios X e Y que permiten el paso del aceite del amortiguador cuando el embolo avanza longitudinalmente en fase de compresión o de expansión. Además existe una tercera cámara C que está conectada con la B mediante otros dos pequeños orificios U y V que tiene un paso muy restringido de aceite. Además de estas cámaras existen dos electroválvulas Ev1 y Ev2 que conectan la cámara A del amortiguador con la cámara C de compensación. La diferencia entre ambas electroválvulas está en la cantidad de flujo de aceite que permiten pasar en su apertura, siendo la de mayor paso la Ev2. Estas electroválvulas están pilotadas por el calculador electrónico (2) que ordena su apertura o cierre en función de los valores de los parámetros que recibe de los sensores del sistema determinado uno u otro tipo de suspensión.

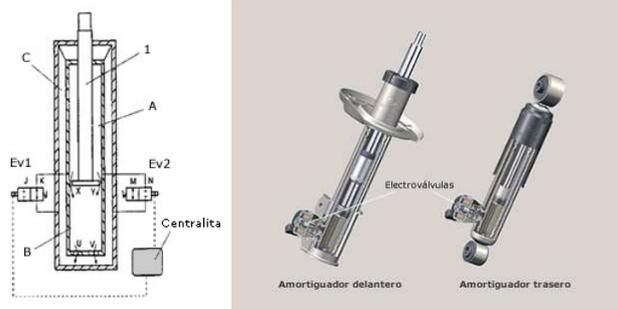


Fig. 14 Esquema de un amortiguador pilotado y sus electroválvulas. (Fuentes de las imágenes ALONSO PÉREZ, José Manuel Técnicas del automóvil: Chasis

www.mecanicavirtual.org)

En la imagen anterior podemos apreciar un esquema de la forma que se comanda este tipo de amortiguadores por medio de electroválvulas las cuales se activan según el estado que se requiera. La comunicación entre las cámaras a través de las dos electroválvulas permite tres posibilidades de tarado de suspensión diferentes:

- a) **Confortable:** en este tipo de suspensión la electroválvula Ev2 de mayor paso de aceite está abierta de forma que por ejemplo en estado de compresión del amortiguador, el aceite pasa de la cámara A hacia la B por los pasos X e Y, y de la cámara A a la cámara de compensación C por la electroválvula Ev2 en posición abierta M. Además también existe un flujo muy pequeño de aceite entre las cámaras B y C a través de los pasos U y V. Mientras la electroválvula V1 se mantiene cerrada en su posición J. De esta forma se consigue la mayor flexibilidad en la suspensión consiguiendo la mayor confortabilidad en el vehículo.

- b) **Suspensión normal:** en esta caso la suspensión es algo más dura que la anterior por lo que el paso del aceite a la cámara C de compensación debe ser más dificultoso. En efecto, en la posición de suspensión normal la electroválvula de menor paso de aceite Ev1 está abierta en su posición K mientras que la electroválvula Ev2 está cerrada en su posición N. De esta forma se consigue una suspensión de tarado medio que es menos confortable que la anterior pero proporciona mayor estabilidad al vehículo.

- c) **Deportiva:** ésta es la suspensión más dura que permiten los amortiguadores. Para conseguir este tarado tan rígido se recurre a cortar la comunicación entre las cámaras A y B con la cámara C de compensación. De esta forma en el recorrido del embolo en la compresión el paso de aceite solo se realiza entre las cámaras A

y B y de forma muy restringida entre la cámara B y C a través de los orificios U y V. Con ello se consigue que haya una menor resistencia al desplazamiento del aceite a paso del recorrido longitudinal del émbolo. Con este tipo de suspensión se consigue un tarado duro ideal para rápidas maniobras que necesitan de una gran estabilidad, todo ello a costa de una disminución de confort.

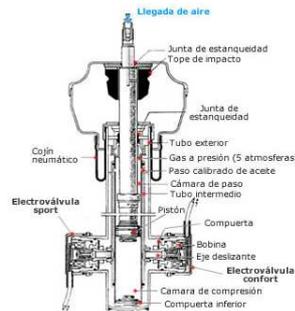


Fig. 15 Esquema de un amortiguador pilotado con un cojín neumático para modificar la altura. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

1.7.3 El calculador electrónico

El calculador recibe las oportunas señales de velocidad del vehículo, así como de activación de los frenos desde captadores apropiados, en función de las cuales, determina el modo de funcionamiento. También recibe señales de los movimientos de la carrocería que se producen en curvas, aceleraciones y frenadas, así como los movimientos verticales producidos por la irregularidad del terreno por el que se circula, las cuales son enviadas por acelerómetros posicionados convenientemente sobre la misma carcasa del calculador.

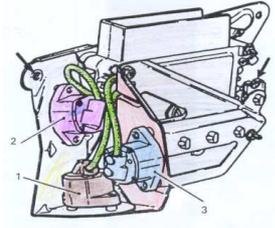


Fig. 16 Esquema del computador (calculador) (Fuente de la imagen ALONSO PÉREZ, José Manuel Técnicas del automóvil: Chasis)

En la imagen anterior podemos apreciar el acelerómetro 1 que detecta el nivel de los movimientos verticales, enviándose la oportuna señal al módulo, quien la procesa para determinar principalmente el confort de la suspensión. Con los acelerómetros 2 y 3 se detectan respectivamente los movimientos longitudinales y transversales de la carrocería, enviándose al módulo las oportunas señales, que debidamente procesadas junto a las recibidas de los captadores de velocidad y en todo caso de frenado, determinan el aspecto de comportamiento, endureciendo la amortiguación en función de estos parámetros. Lo que anterior mente se describió es la base de muchos modelos de suspensiones que han sido variadas según cada fabricante las cuales se pueden encontrar en el mercado, las variaciones de un tipo de suspensión de amortiguación “inteligente” por así llamarlo utilizan desde amortiguadores hidráulicos hasta un tipo de suspensión con elementos neumáticos e incluso se los puede mezclar los dos tipos para generar un tipo de suspensión que mezcla un control de amortiguación por medio de un amortiguador regulable como y la de un sistema de corrección de altura según la carga que se encuentre gravitando sobre ella.

1.8 SUSPENSION ACTIVA

Se denominan también full active suspensions. Con este método se puede controlar tanto las altas frecuencias (de 10 a 15 Hz) como las bajas frecuencias (de 3 a 5 Hz), por ello no existe el control pasivo tal y como ocurre en el caso anterior. Generalmente este sistema consiste en la sustitución del muelle y el amortiguador por un accionador hidráulico que se encarga de ejercer las fuerzas de compensación, tanto para

la reposición de la carrocería en el balanceo en curva y el control de balanceo en la frenada, como para aislar la carrocería de las irregularidades del terreno.

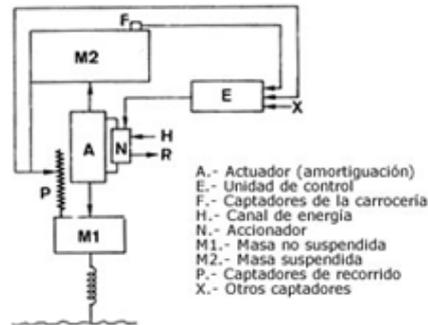


Fig. 17 Esquema de una suspensión full-activa. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org.)

Cuando se busca una mayor exigencia al sistema de suspensión, teniendo en cuenta factores como el estado de la calzada, velocidad, comportamiento en la conducción, etc. se necesita de un sistema de suspensión regulable que actúe sobre cada rueda de manera rápida y constante. Para conseguir este objetivo se necesita de un sistema de control mucho más complejo que los anteriores. La suspensión activa se compone de una serie de sensores y actuadores que necesitan de un canal externo de energía. Las suspensiones activas se componen de un sistema hidráulico o neumático, capaz de generar fuerzas para compensar el balanceo y el cabeceo del vehículo. Un computador se encarga de recoger los datos tomados por sensores distribuidos estratégicamente para poder enviar las señales adecuadas a los actuadores, y que éstos actúen de forma que se mantenga un nivel máximo de estabilidad. Este sistema está poco desarrollado y hoy en día todavía no se comercializa en los vehículos de serie pero existen sus excepciones, debido al gran coste de implantación y a que el consumo de energía es demasiado elevado. Unos de los sistemas que se les consideran un sistema activo es el sistema de estabilización de carrocería SC.CAR de la casa fabricante francesa Citroën y el sistema ABC (Active Body Control) de la marca alemana Mercedes Benz.

El objetivo de este capítulo fue la de realizar una definición practica de un sistema semi-activo a lo largo del desarrollo del mismo encontramos como ya se lo ha mencionado diferentes sistemas que muchos de los autores les consideran sistemas pasivos o caso contrario un sistema de suspensión activo, la analogía de análisis con la que hemos partido es desde el hecho que un sistema de suspensión semi-activo o también llamado un sistema de baja frecuencia parte desde el hecho de tener un sistema de suspensión mecánico con los tan conocidos muelle-amortiguador sino que la característica del sistema es que posee un amortiguador donde este puede cambiar sus características de amortiguamiento, en el momento que el vehículo se encuentra en movimiento e incluso no se es necesario la utilización de un muelle helicoidal si no que esta función la puede realizar una cámara de gas comprimido como se la pudo analizar el sistema Hidractiva de Citroën. Ya que hemos destacado que un sistema de suspensión semi-activa parte desde un sistema de suspensión mecánica con la característica de variar sus características para realizar el diseño y la construcción del banco de pruebas para una suspensión semi-activa debemos establecer el sistema de suspensión que utilizaremos pero sobre todo debemos basarnos en un vehículo que exista en nuestro medio para poder conseguir los elementos necesarios a lo que llegamos a una elección de utilizar un sistema de suspensión de un Nissan Pathfinder R50 la cual tiene un sistema de suspensión delantera independiente tipo McPherson con un amortiguador regulable de dos posiciones (modo confort o normal y modo sport o duro), ya que tomando en cuenta que otras marcas vehículos que poseen este sistema son muy raros o no se encuentran en circulación en el país.

DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO DE LA SUSPENSION SEMI-ACTIVA

CAPITULO 2



CAPITULO 2

DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO DE
LA SUSPENSION SEMI-ACTIVA

2.0 INTRODUCCION

La finalidad de este capítulo es la de realizar un estudio teórico del comportamiento del sistema de suspensión, con el afán de realizar una comprobación y análisis de resultados obtenidos tanto de una manera práctica como teórica, desde este instante se comienza a establecer ciertos parámetros los cuales definirán el diseño final del banco de pruebas de la suspensión semi-activa, parámetros que estarán determinados por las características de los elementos como son el muelle, amortiguador el cual como se ha establecido en reseñas anteriores debe de poseer la capacidad de variar sus condiciones de funcionamiento, estaría interviniendo las cargas que soportarán los mismos como son las masas suspendidas y no suspendidas.

2.1DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA SUSPENSIÓN SEMI-ACTIVA.

Para el desarrollo del modelo matemático del sistema de suspensión semi-activa, se debe conocer el conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos (bastidor, carrocería, pasajeros y carga) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes), esta determinación de los elementos que intervienen en el sistema ya se definieron en el capítulo anterior pero vale la pena recalcarlo. En esta instancia que comenzamos a realizar el desarrollo de un modelo matemático de la suspensión semi-activa establecemos una condición de construcción del mismo (banco de pruebas) ya que el sistema no estará en movimiento, hacemos referencia que no simularemos condiciones dinámicas de comportamiento como son:

- Comportamiento en curva de la suspensión.
- Comportamiento en arranque y frenado.

Sino el análisis que realizaremos es de un sistema de suspensión estático, aplicándole un movimiento vertical que simularía el momento que el vehículo se encuentra superando un obstáculo que podría encontrar en la carretera y el cual podamos apreciar su funcionamiento en los estados que se encuentre el amortiguador.

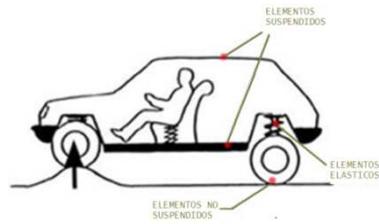


Fig. 1 Diagrama de elementos en el vehículo. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

Como se puede apreciar en la figura anterior establecemos los elementos que se encuentran involucrados en la dinámica del automóvil, cuando un automóvil pasa sobre un terreno irregular, se produce un golpe sobre la rueda que se transmite por medio de los ejes al chasis y que se traduce en oscilaciones. Una mala conducción o un reparto desequilibrado de las cargas pueden también originar oscilaciones. Estos movimientos se generan en el centro de gravedad del vehículo y se propagan en distintos sentidos. Los tres tipos de oscilaciones existentes son:

- Bamboleo: se genera al tomar curvas a alta velocidad.
- Cabeceo: debido a las frenada bruscas
- Empuje: se produce al pasar por terreno ondulado

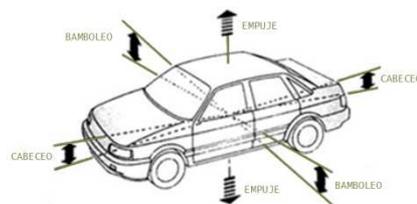


Fig. 2 Oscilaciones producidas en el automóvil. (Imagen tomada de www.mecanicavirtual.org)

La constante absorción por parte del pasajero de las oscilaciones producidas por el camino pueden generar varios síntomas de malestar como son los más comunes mareos, fatiga entre otros, estos son algunos de los factores que se toman en cuenta al momento de realizar el diseño de una suspensión. A lo largo de los años y de estudios generados a razón de estos detalles y desventajas que eran producidos por

los movimientos se llegó a la conclusión que el número de oscilaciones por segundo para que el pasajero se mantenga cómodo dentro del vehículo.

*“El valor es de 1 a 2 oscilaciones por segundo ya que si se superaría este valor produciría una excitación del sistema nervioso, pero si se colocaría un sistema que esté por debajo de este valor produciría mareo”.*¹

Frecuencias en Hz		EFECTOS PRODUCIDOS		
		Sobre las personas		Sobre el automóvil
MUY BAJAS	< 0.5		Sensación de mareo con grandes amplitudes	
BAJAS 0.5 a 4	1 a 3	1.2 a 2	Frecuencia del movimiento vertical del paso humano	Modos de baja frecuencia de la masa suspendida y del conjunto de movimientos vertical, cabeceo, balanceo y giñada
		1 a 2	Resonancia de la cabeza en movimientos horizontales	
		1 a 3	Umbral mínimo de la ICV en movimientos horizontales	
MEDIAS 4 a 20	4 a 8	4 a 6	Resonancia del cuerpo en movimientos verticales y horizontales	Frecuencia de rotación de las ruedas en circulación a bajas velocidades
		4 a 8	Mínimo umbral de incomodidad en movimientos verticales	
	10 a 20	10 a 20		Frecuencia natural de masas semisuspendidas y frecuencias medias del conjunto(m.s y m.s.s) Frecuencia de rotación de las ruedas en circulación a

¹ Texto tomado de BRUÑO EDEBE, Tecnología de la Automoción 2.3 de Pg. 148

				velocidades medias o altas
		11 a 15	Poca resonancia en el cuerpo ante movimientos verticales	
		15 a 20	Resonancia de la cabeza con vibraciones verticales	
ALTAS > 20	20 a 200	20 a 200		Vibraciones provocadas por acciones directas
		60 a 90	Resonancia del globo ocular	
		80 a 95		Vibraciones propias de neumáticos radiales
		100 a 200	Resonancia mandibular	
		170 a 200		Vibraciones propias de neumáticos diagonales

Tabla 1. Frecuencias características de movimientos vibratorios en vehículos y efectos (Fuente APARICIO IZQUIERDO, Teoría de los Vehículos Automóviles)

En la tabla anterior presentamos algunos de los síntomas producidos por las frecuencias del mecanismo de suspensión. Y es por esto que para el diseño del sistema es sumamente importante tener en cuenta estos valores que son determinados por estudios realizados en el desarrollo del modelo matemático ya que deben estar dentro de los valores que son óptimos para mantener el confort de los pasajeros la cual ya fue mencionada anteriormente, y es de 1 a 2 oscilaciones por segundo (en una frecuencia de 60 periodos por minuto), la característica de este sistema nos permite controlar frecuencias que van desde los valores de 3 a 4 Hz y para llegar al valor óptimo que se ha mencionado el sistema tiene realizar la regulación del coeficiente de amortiguación R (dureza del amortiguador).

2.2 MODELO DINAMICO DE UN CUARTO DEL VEHICULO

El esquema que se ha tomado para realizar el modelo matemático es la de un modelo de una suspensión netamente mecánica ya que el sistema de suspensión

semi-activa se caracteriza por tener los elementos mecánicos de una suspensión convencional como son:

- Muelle
- Amortiguador

La característica de este sistema es que se puede regular la dureza del amortiguador según sea el tipo de camino en el que esté circulando el vehículo como se lo mencionó en el capítulo anterior ya sea de una forma manual o de una forma automática.

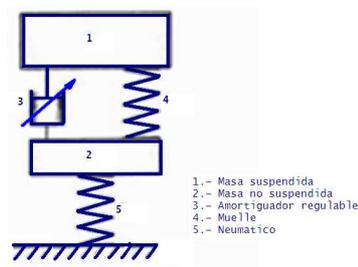


Fig. 3 Esquema de una suspensión “semi-activa” para una rueda. (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

En la imagen anterior se puede apreciar un esquema dinámico del sistema de suspensión en donde se destaca la característica que debe tener el amortiguador a la de cambiar sus características de amortiguamiento cuando el vehículo se encuentre en marcha. Desde esta base partimos con el análisis matemático para encontrar una ecuación característica del sistema. Para comenzar el estudio de este modelo matemático comenzaremos analizando el mecanismo como tal (muelle, amortiguador y masa suspendida), sin tomar en cuenta la influencia de la masa no suspendida a la cual la tomaremos como un punto fijo y sin tomar en cuenta la influencia del neumático en este cálculo inicial, este modelo que será presentado es considerado como un sistema de un grado de libertad.

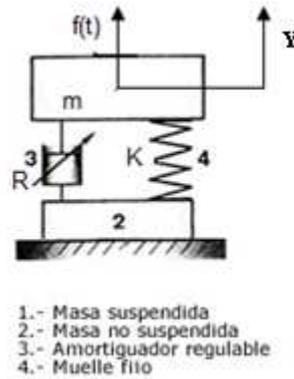


Fig. 4 Esquema de la suspensión para análisis. (Fuente de la imagen www.km77.com)

Para la ecuación de movimiento del sistema partiremos desde una ecuación diferencial, la cual nos describe el funcionamiento del sistema por lo que tenemos:

$$M \ddot{y} + R \dot{y} + Ky = F(t) \quad (1)$$

En una primera instancia para el desarrollo del análisis matemático partiremos que no tenemos una señal de entrada, es decir haciendo $F(t)=0$, la ecuación (1) por lo que nos queda.

$$M \ddot{y} + R \dot{y} + Ky = 0 \quad (2)$$

La solución de la ecuación (2) si partimos por el teorema de desarrollo de ecuaciones diferenciales es del tipo $y = Y.e^{\omega t}$, donde ω es una constante la cual es necesario determinar. Para este análisis debemos obtener las derivadas \dot{y}, \ddot{y} , el desarrollo de las derivadas es con respecto a ω por lo que sustituimos $y = Y.e^{\omega t}$ en la ecuación (2), se tiene:

$$(MY.e^{\omega t} + RY.e^{\omega t} + KY.e^{\omega t}) = 0$$

$$\ddot{y} = \frac{d^2}{d^2 \omega} Y.e^{\omega t} = \omega^2.Y.e^{\omega t}$$

$$\dot{y} = \frac{d}{d\omega} Y.e^{\omega t} = \omega.Y.e^{\omega t}$$

$$M.\omega^2.Y.e^{\omega.t} + R.\omega.Y.e^{\omega.t} + K.Y.e^{\omega.t} = 0$$

Luego de reemplazar los datos procedemos a sacar el factor común $Y.e^{\omega.t}$ de la ecuación por lo que tenemos:

$$(M.\omega^2 + R.\omega + K).Y.e^{\omega.t} = 0 \quad (3)$$

Luego el valor que tenemos $Y.e^{\omega.t}$ por medio de una propiedad matemática la pasamos hacia el otro lado en donde de igual manera tenemos un valor de 0. La solución no trivial de esta ecuación se obtendrá haciendo:

$$M.\omega^2 + R.\omega + K = 0 \quad (4)$$

Para resolver la ecuación diferencial que tenemos a toda la ecuación la vamos a dividir para M a toda la ecuación, para obtener una ecuación de segundo grado por lo que tenemos:

$$\frac{M.\omega^2 + R.\omega + K}{M} = 0$$

$$\omega^2 + \omega.\frac{R}{M} + \frac{K}{M} = 0 \quad (5)$$

Luego a esta ecuación aplicamos la fórmula para una ecuación de segundo grado para obtener las dos soluciones del sistema. A esta ecuación se le denomina ecuación característica del sistema y sus soluciones ω_1 y ω_2 son:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4*a*c}}{2*a}$$

Ecuación de segundo grado

$$\omega_{1,2} = -\frac{R}{2M} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}} \quad (6)$$

La ecuación anterior estamos sustituyendo los valores y desarrollamos la misma por medio de algunos teoremas matemáticos. Por otra parte, la solución de la ecuación (2) de la que partimos para el análisis es:

$$y(t) = A.e^{\omega_1 t} + B.e^{\omega_2 t} \quad (7)$$

Donde A y B son constantes que dependen de las condiciones iniciales impuestas para $t=0$. La ecuación (6) proporciona las frecuencias fundamentales del sistema y para el caso de que el amortiguamiento fuera nulo, es decir $R=0$, se tendría:

$$\omega_{1,2} = \pm \sqrt{-\frac{K}{M}} \quad (8)$$

Si se sustituye en la ecuación (7) los valores ω_1 y ω_2 los cuales son los siguientes:

$$\omega_1 = -\frac{R}{2M} + \sqrt{\left(\frac{R}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}}$$

$$\omega_2 = -\frac{R}{2M} - \sqrt{\left(\frac{R}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}}$$

Obtenemos la siguiente ecuación desarrollando teoremas matemáticos:

$$y(t) = e^{-(R/2M)t} \left[A.e^{I t} + B.e^{-I t} \right] \quad (9)$$

En la ecuación establecimos una constante I por motivos de simplificación de la ecuación final, el valor I es:

$$I = \sqrt{\left(\frac{R}{2M}\right)^2 - \frac{K}{M}}$$

El primer término, $e^{-(R/2M)t}$ es una función decreciente exponencialmente con el tiempo y el valor de I depende de que los valores numéricos dentro del radical sean positivos, nulos o negativos. Es sabido que cuando estos valores son positivos o

nulos el exponente del número e , es real, mientras que en el caso contrario es imaginario. Para nuestro análisis tomaremos en cuenta valores dentro del rango imaginario. Para que I sea imaginario se debe cumplir que:

$$\left(\frac{R}{2M}\right)^2 < \frac{K}{M} \quad (10)$$

En el caso especial de que $I = 0$ se tiene:

$$\left(\frac{R}{2M}\right)^2 = \frac{K}{M} \quad (11)$$

El momento que tenemos un valor como se describe anteriormente de $I=0$ el sistema tiene amortiguamiento crítico. En este caso si queremos que el sistema se comporte como un sistema críticamente amortiguado despejamos de la ecuación (11) el valor de R , por lo que se tiene:

$$R_{CRI} = 2M \sqrt{\frac{K}{M}} = 2 \cdot \sqrt{K \cdot \frac{M^2}{M}} = 2 \cdot \sqrt{K \cdot M} \quad (12)$$

A este valor de R se le denomina crítico. Como en los vehículos R siempre debe ser menor que R_{CRI} , si en el caso que el valor R en el diseño sea el crítico el sistema de suspensión tendería a afectar a los ocupantes con valores de frecuencia fuera de los parámetros establecidos por lo que estos valores de ω_1 y ω_2 deberán ser siempre números complejos.

$$\omega_{1,2} = -\frac{R}{2M} + i \cdot \omega_n \quad (13)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M} - \left(\frac{R}{2M}\right)^2} \quad (14)$$

La ecuación (14) es la que nos define el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo pero para representarla en Hz (hercios) y conocidos los valores de K y R

puede calcularse la frecuencia del sistema amortiguado aplicando la siguiente fórmula:

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M} - \left(\frac{R}{2M}\right)^2}$$

2.3 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES.

Para el análisis completo del polinomio característico obtenido es necesario contar con los valores del coeficiente de amortiguamiento (R) y del coeficiente (K) del muelle por lo que procedemos a caracterizar el sistema de suspensión semi-activa.

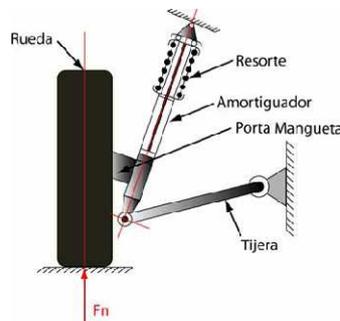


Fig. 5 Caracterización del sistema. (Fuente de la imagen www.km77.com)

Antes de continuar con el análisis del sistema de suspensión cabe recalcar que el análisis que se desarrolló anteriormente es de un sistema de suspensión independiente de tipo McPherson, el modelado matemático parte de este sistema y como se ha mencionado en breves rasgos el tipo de amortiguador que utilizaremos es de una Nissan Pathfinder R50, establecimos ciertos parámetros por los que se decidió escoger este sistema de suspensión, en una primera instancia se estableció que un sistema de suspensión semi-activa es la cual tiene su capacidad de variar sus características de funcionamiento a lo largo del funcionamiento del vehículo en carretera, por otra parte al existir algunos sistemas de suspensión semi-activa escogimos este tipo de sistema ya que los repuestos se los puede encontrar fácilmente en nuestro medio ya que este vehículo circula por las carreteras de nuestro país, la característica principal es que este tipo de amortiguador posee dos posiciones de funcionamiento las cuales se las escoge por medio de una válvula que se tiene en la parte superior del mismo, las posiciones establecidas de este amortiguador son normal o confort y dura o sport.



Fig. 6 Imagen del sistema de suspensión (muelle-amortiguador)

En la imagen anterior podemos apreciar la suspensión que se utilizará para realizar la construcción del banco de pruebas a simple vista es un sistema tradicional de una suspensión pasiva pero la característica principal del sistema es que el coeficiente de amortiguamiento se puede variar con el giro de una válvula que se encuentra en la parte superior del amortiguador.



Fig. 7 Válvula de control para variar el coeficiente de amortiguamiento

En la imagen anterior se puede apreciar la forma de realizar el cambio de coeficiente de amortiguamiento, la forma que realiza el cambio de estado “coeficiente de amortiguamiento” es por medio de la regulación de los calibres de pasos en el interior del amortiguador en donde esta variación de los calibres de paso hace que el fluido dentro del amortiguador no circule fácilmente así variando las características del mismo.

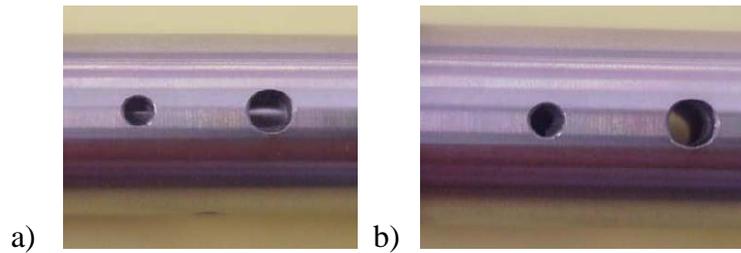


Fig. 8 Variación de los calibres dentro del amortiguador (Fuente de la imagen www.tecnun.es/automocion)

En las imágenes anteriores se puede apreciar la forma que se realiza la variación de los calibres para que se cambie los valores del coeficiente de amortiguamiento del amortiguador esto lo realiza la válvula que se encuentra en la parte superior del amortiguador, esta acción la realiza un motor eléctrico de pasos el cual se coloca en la parte superior del mismo. El análisis que se desarrolló anteriormente hace referencia al sistema de suspensión (muelle-amortiguador) sin tomar en cuenta las características del neumático.

2.3.1 Determinación del coeficiente K del muelle

Para calcular el valor del coeficiente K del muelle debemos obtener el valor de desplazamiento del muelle cuando se le aplica una carga predeterminada, para la obtención de este valor se lo realizará de dos formas, una forma práctica y otra forma teórica, lo ideal es que las características del muelle (coeficiente K) se lo pueda obtener por medio de una máquina en donde se nos de este valor directamente pero lamentablemente no se lo puede realizar ya que no se cuenta con una máquina para realizar este procedimiento. La forma práctica que se realizará para obtener el valor de la constante K del muelle es por medio de la utilización de pesos los cuales se le colocará en la parte superior del muelle y procedemos a verificar la distancia que se ha recorrido con la aplicación de este peso, la característica de muelle es que es de forma cónica con lo que tendremos que realizar este procedimiento en las dos secciones del muelle. Para obtener los datos del K partimos desde la fórmula que ponemos a consideración:

$$F = K * y$$

$$K = \frac{F}{y}$$

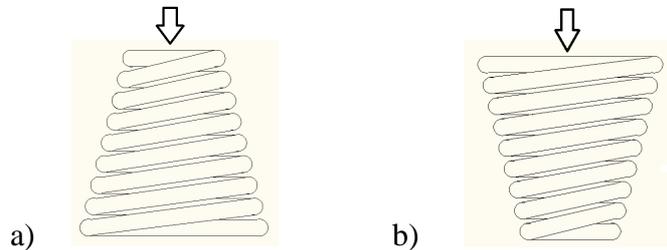


Fig. 9 Método de prueba para obtener la constante K del muelle.

En la imagen anterior podemos apreciar en donde realizaremos la colocación de los pesos para obtener la constante K del muelle como se ha mencionado anteriormente como es un muelle cónico esta prueba la realizaremos de dos formas, la primera colocaremos la carga en la sección delgada y la segunda colocamos la carga en la parte más ancha. Por medio de la aplicación de esta fórmula se nos facilita el cálculo de la constante K ya que tenemos la fuerza aplicada partiendo desde la masa y aplicando la fórmula:

$$F = m * g$$

En donde g es la gravedad la cual es 9.8 m/s^2 las



Fig. 10 Obtención de la constante K del muelle

En la imagen anterior se puede apreciar la forma en la que realizamos la obtención de la constante K del muelle, las masas que utilizamos para las pruebas van desde los 10 kg hasta los 60 kg, como se ha mencionado obtendremos la distancia que se recorra con la aplicación de esta carga y podremos obtener los datos que necesitamos. En una primera instancia obtendremos los valores con la aplicación de carga en la sección más grande del muelle.

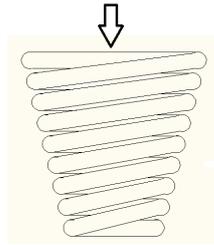


Fig. 11 Aplicación de carga en la sección más grande

Aplicando las cargas antes mencionadas obtuvimos los siguientes datos.

Datos:

Masa (kg)	Fuerza (N)	Desplazamiento (m)	K (N/m)
10	98	0,003	32666,66
20	196	0,005	39200
30	294	0,008	36750
40	392	0,018	21777,77
50	490	0,021	23333,33
60	588	0,028	21000

Tabla 2. Datos obtenidos en la práctica con la sección de mayor diámetro.

En la tabla anterior podemos apreciar las constantes K que se obtuvieron por medio de las pruebas con distintas cargas, para obtener un K promedio sumaremos todos estos valores y la dividiremos para el número de muestras que se realizaron.

$$K = \frac{K1 + K2 + K3 + K4 + K5 + K6}{6}$$

$$K = \frac{32666,66 + 39200 + 36750 + 21777,77 + 23333,33 + 21000}{6}$$

$$K = 29121,29 \frac{N}{m}$$

$$K = 29,12 \frac{KN}{m}$$

El valor obtenido es de una sola sección por lo que procedemos a realizar el mismo procedimiento aplicando carga en la otra sección.

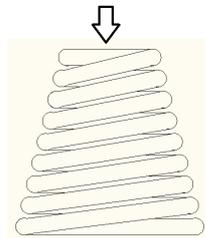


Fig. 12 Aplicación de carga en la sección de diámetro menor

Aplicando las mismas cargas que utilizamos anteriormente obtuvimos los siguientes valores:

Datos

Masa (kg)	Fuerza (N)	Desplazamiento (m)	K (N/m)
10	98	0,002	49000
20	196	0,006	32666,66
30	294	0,010	29400
40	392	0,013	30153,84
50	490	0,018	27222,22
60	588	0,024	24500

Tabla 3. Datos obtenidos en la práctica con la sección menor.

En la tabla anterior podemos apreciar los valores obtenidos por medio de la práctica y para obtener una medida media aplicamos el mismo principio y el coeficiente de K del muelle es:

$$K = \frac{K1 + K2 + K3 + K4 + K5 + K6}{6}$$

$$K = \frac{49000 + 32666,66 + 29400 + 30153,84 + 27222,22 + 24500}{6}$$

$$K = 32157,12 \frac{N}{m}$$

$$K = 32,157 \frac{KN}{m}$$

Ya que se obtuvo los dos valores de las constantes podemos obtener una media con la que se puede aplicar para la realización de los cálculos de una forma más directa ya que la forma de este muelle es cónica y el comportamiento del muelle es de forma distinta a la de uno en forma cilíndrica ya que su deformación depende de la carga a la que se someta a este muelle. Por lo que tenemos una medida media la cual es:

$$K = \frac{K1 + K2}{2}$$

$$K = \frac{32157,12 + 29121,29}{2}$$

$$K = 30639,2 \frac{N}{m}$$

$$K = 30,63 \frac{KN}{m}$$

Siendo el valor de K el coeficiente del muelle a utilizar para los cálculos. Como se ha mencionado anteriormente se realizará la obtención del valor de la constante K por medio de un cálculo matemático, el objeto de esto es para ver el grado de error que se tiene al momento que se realiza la obtención de estos datos de una forma práctica comparada con una forma teórica, para calcular el valor de la constante K aplicaremos la siguiente fórmula:

$$K = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * Na}$$

2

En donde los valores son:

d = diámetro del alambre (m)

G = módulo de rigidez (Pa)

D = diámetro del muelle (m)

Na = número de espiras

El valor de G que es el coeficiente de rigidez o elasticidad es de $8.14 \times 10^{10} Pa^3$ para los materiales utilizados para la construcción de muelles para el sector automotriz, se utiliza valores que se encuentran en tablas o en libros ya que los fabricantes no entregan este tipo de valores al público ya que se tiene un absoluto recelo tecnológico entre las casas fabricantes.

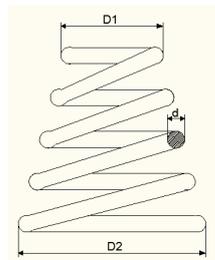


Fig. 13 Características dimensionales del muelle.

Las dimensiones características del muelle como se puede apreciar en la gráfica son las siguientes:

D1 = 0,15 m

D2 = 0,19 m

d = 0,016 m

² Ecuación tomada de Norton, Diseño de Maquinas Pg. 883

³ Valor tomado de BRUÑO EDEBE, Tecnología de la Automoción 2.3 de Pg. 153

$$L = 0,42 \text{ m}$$

$$Na = 7$$

El cálculo de la constante K del muelle con D1 ocupamos la fórmula antes mencionada por lo que tenemos:

$$K1 = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * Na}$$

$$K1 = \frac{(0,016)^4 * 8,14 \times 10^{10}}{8 * (0.15)^3 * 7}$$

$$K1 = 28225,55 \frac{N}{m}$$

$$K1 = 28,22 \frac{KN}{m}$$

El cálculo de la constante K del muelle con D2 de la misma forma ocupamos la formula anterior por lo que tenemos:

$$K2 = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * Na}$$

$$K2 = \frac{(0,016)^4 * 8,14 \times 10^{10}}{8 * (0.19)^3 * 7}$$

$$K2 = 13888,50 \frac{N}{m}$$

$$K2 = 13,88 \frac{KN}{m}$$

$$K = \frac{K1 + K2}{2}$$

$$K = \frac{28225,55 + 13888,50}{2}$$

$$K = 21057,025 \frac{N}{m}$$

$$K = 21,05 \frac{KN}{m}$$

El resultado del valor K obtenido mediante la aplicación de un modelo matemático es de 21,05 KN/m y si lo comparamos con el valor obtenido por medio de pruebas vemos que el valor es sumamente superior al obtenido por medio de cálculos por lo que para realizar el cálculo tanto de dimensionamiento del banco de suspensión como de las gráficas obtenidas por medio del análisis matemático utilizaremos el

valor del coeficiente K obtenido por medio de una forma práctica cuyo valor promedio es de 30,639 KN/m

2.3.2 Determinación del coeficiente R del amortiguador.

El amortiguador es un elemento muy importante en el sistema de suspensión, estos elementos son los encargados de absorber las vibraciones de los elementos elásticos (muelles, ballestas, barras de torsión), convirtiendo en calor la energía generada por las oscilaciones. Cuando la rueda encuentra un obstáculo o bache, el muelle se comprime o se estira, recogiendo la energía mecánica producida por el choque, energía que devuelve por efecto de su elasticidad, rebotando sobre la carrocería. Este rebote en forma de vibración es el que tiene que frenar el amortiguador, recogiendo en primer lugar el efecto de compresión y luego el de reacción del muelle, actuando de freno en ambos sentidos, para calcular los valores del coeficiente de amortiguamiento R debemos obtener los datos de desplazamiento y tiempo en el que el amortiguador lo realiza aplicándole una carga, para lo cual partimos del siguiente teorema

“El amortiguamiento viscoso está caracterizado por el hecho de que la fuerza de fricción y rozamiento es directamente proporcional a la velocidad del cuerpo en movimiento”⁴

En base a este teorema podemos decir que para obtener el valor del coeficiente de amortiguamiento es el siguiente:

$$F = R \cdot \dot{y}$$

$$\dot{y} = \frac{dx}{dt}$$

$$R = \frac{F}{\dot{y}} = \frac{kg}{s}$$

En donde \dot{y} es la velocidad y esta se la puede calcular aplicando la fórmula de velocidad la cual es espacio/tiempo, el valor del coeficiente de amortiguamiento es

⁴ Texto tomado de Beer, Johnston Mecánica Vectorial para Ingenieros Pg. 990

expresado en $N*s/m$ este valor se obtiene simplificando unidades de cada uno de los elementos, tomando en cuenta estas instancias principales determinamos la forma en la que se realizará la prueba.

$$F = m.g = m(kg) * 9,81m / s^2$$

$$\dot{Y} = \frac{e(m)}{t(s)}$$

$$R = \frac{F}{\dot{y}}$$

$$R = \frac{N * s}{m}$$

Se puede apreciar el valor en el que se obtiene R para realizar la prueba realizamos el siguiente procedimiento:

- Tomamos el amortiguador y lo estiramos completamente, tomamos una medida de longitud.
- En la parte superior del amortiguador colocamos la carga predeterminada.
- Observamos el desplazamiento del amortiguador al aplicar la carga y tomamos una medida de tiempo y de desplazamiento.



Fig. 14 Método de obtención del coeficiente R de amortiguamiento.

Para realizar la prueba se utilizará varias masas y se medirá el desplazamiento de carrera del vástago del amortiguador, la distancia que tomaremos en cuenta es de 6

cm (0,06m), como se ha mencionado anteriormente el amortiguador posee dos posiciones por lo que se requiere que el cálculo lo realizaremos de estas dos posiciones.

Posición 1.- Suave

Desplazamiento (x) = 0,06 m

Masa (kg)	Desplazamiento 0,06m		Velocidad (m/s)	Coeficiente de amortiguamiento (N*s/m)
	T1 (s)	T2 (s)		
10	1,20	1,40	0,0461	2125,50
16	0,86	0,81	0,0722	2171,28
21	0,74	0,84	0,0759	2712,46
27	0,60	0,58	0,1016	2604,55

Tabla 4. Coeficientes de amortiguamiento (R) en modo normal o confort.

Para sacar un coeficiente que utilizaremos en el cálculo sacaremos una medida media de los valores de la tabla 4 y ese será el valor que utilizaremos por lo que tenemos:

$$R_{Tsuave} = \frac{R1 + R2 + R3 + R4}{4}$$

$$R_{Tsuave} = \frac{2125,50 + 2171,28 + 2712,46 + 2604,55}{4}$$

$$R_{Tsuave} = 2403,44 \frac{N \cdot s}{m}$$

Posición 2.- Duro

Desplazamiento (x) = 0,06 m

Masa (kg)	Desplazamiento 0,06m		Velocidad (m/s)	Coeficiente de amortiguamiento (N*s/m)
	T1 (s)	T2 (s)		
10	5,35	5,34	0,0112	8730,90
16	2,24	2,26	0,0256	6121,44
21	1,57	1,40	0,0405	5081,58
27	1,04	1,17	0,0545	4855,95

Tabla 5. Coeficientes de amortiguamiento (R) en modo duro o sport.

De igual manera el valor a utilizar para el cálculo obtendremos un valor medio de todas las muestras que sacamos por lo que tenemos:

$$R_{Tduro} = \frac{R1 + R2 + R3 + R4}{4}$$

$$R_{Tduro} = \frac{8730,90 + 6121,44 + 5081,58 + 4855,95}{4}$$

$$R_{Tduro} = 6197,46 \frac{N \cdot s}{m}$$

Se ha realizado la aplicación de esta fórmula y de este método para obtener los valores del coeficiente de amortiguamiento ya que los valores de los coeficientes de amortiguamiento no se los tiene y por lo tanto los coeficientes obtenidos utilizaremos en el cálculo. Con los valores que obtuvimos por medio de pruebas los cuales son en modo normal o suave es de **2403,44 N*s/m** y en modo duro es de **6197,46 N*s/m**, procedemos a plantearnos nuestro sistema de ecuaciones según la figura que utilizamos para realizar nuestro análisis la cual es de un solo grado de libertad.

2.4 FUNCION DE TRANSFERENCIA.

El primer análisis que desarrollamos es para partir desde un análisis con una ecuación que posee su dominio en función del tiempo, lo que necesitamos para analizar el sistema es que la ecuación nos entregue el dominio de la misma con respecto a la frecuencia para lo cual necesitamos realizar a la primera ecuación la transformada de Laplace. Para la obtener la función de transferencia son necesarios los datos si partimos desde el modelo de análisis:

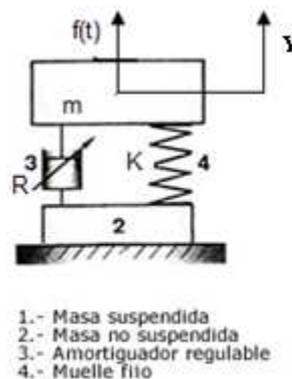


Fig. 15 Modelo que se partió el análisis del sistema de suspensión.

En este caso no se tomó en cuenta la m_2 que hace referencia a la masa no suspendida por lo que los datos necesarios son:

Datos:

- Masa suspendida 400kg. (aproximadamente un ¼ de vehículo)
- Coeficiente de amortiguamiento (R suave) $2403,44 \frac{N \cdot s}{m}$
- Coeficiente de amortiguamiento (R duro) $6197,46 \frac{N \cdot s}{m}$
- Constante K del muelle $30639,2 \frac{N}{m}$

Utilizando la ecuación (1) con la cual partimos el análisis y aplicando la transformada de Laplace para obtener la función de transferencia tenemos:

$$M \ddot{y} + R \dot{y} + Ky = F(t)$$

$$\mathcal{L}[F(t)] = F(s)$$

El momento que realizamos la transformada de Laplace tenemos:

$$\ddot{y} = s^2 * Y(s) - s * Y(0) - \dot{Y}(0)$$

$$\dot{y} = s * Y(s) - Y(0)$$

$$y = Y(s)$$

$$M \left[s^2 * Y(s) - s * Y(0) - \dot{Y}(0) \right] + R \left[s * Y(s) - Y(0) \right] + k * Y(s) = F(s)$$

Si sacamos factor común en la ecuación y los términos independientes pasamos hacia el otro lado de la igualdad tenemos:

$$Y(s)[M * s^2 + R * s + K] = F(s) + M * s * Y(0) - M * \dot{Y}(0) - R * Y(0)$$

$$\dot{Y}(0) = 0$$

$$Y(0) = 0$$

$$Y(s) * (M * s^2 + R * s + K) = F(s)$$

$$T(s) = \frac{X(s)}{F(s)}$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{M * s^2 + R * s + K}$$

$$T(s) = \frac{1}{M * s^2 + R * s + K}$$

De esta forma sacamos la ecuación de transferencia por lo que reemplazando los datos obtenidos de los elementos en el caso del amortiguador serán la utilización de dos coeficientes y si se le simplifica a la ecuación multiplicándole tanto al denominador como a numerador el valor de 1/M tenemos:

$$T(s) = \frac{1 \left(\frac{1}{M} \right)}{(M * s^2 + R * s + K) \left(\frac{1}{M} \right)}$$

$$T(s) = \frac{\frac{1}{M}}{s^2 + s \left(\frac{R}{M} \right) + \left(\frac{K}{M} \right)}$$

Si observamos el denominador es la misma ecuación característica del sistema que se calculó en instancias anteriores por lo tanto tenemos:

$$s_{1,2} = -\frac{R}{2M} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2M} \right)^2 - \frac{K}{M}}$$

Si sustituimos datos en la ecuación de transferencia nos queda de la siguiente forma:

$$T(s_{suave}) = \frac{\frac{1}{400}}{s^2 + s \left(\frac{2403,44}{400} \right) + \left(\frac{30639,2}{400} \right)}$$

$$T(s_{duro}) = \frac{\frac{1}{400}}{s^2 + s \left(\frac{6197,46}{400} \right) + \left(\frac{30639,2}{400} \right)}$$

Las ecuaciones características del sistema las resolvemos con ayuda del Derive y tenemos los siguientes resultados, cabe recalcar que la ecuación característica del sistema hace referencia al denominador de la ecuación de transferencia ya que esta es la misma que obtuvimos en la ecuación anterior, por lo tanto tenemos:

#1:
$$\frac{2s^2 + 2403.44s + 30639.2}{400}$$

#2:
$$s^2 + 6.0086s + 76.598$$

#3:
$$\text{SOLVE}(s^2 + 6.0086s + 76.598, s)$$

#4:
$$s = -3.0043 - 8.220230015i \vee s = -3.0043 + 8.220230015i$$

Fig. 16 Desarrollo de la ecuación característica del sistema en modo suave o confort

Como se puede apreciar en la imagen anterior tenemos las respuestas del sistema desarrollando la ecuación con la ayuda del programa Derive, la respuesta que se obtuvo es una respuesta con números complejos conjugados por lo que deducimos que es un sistema subamortiguado lo cual nos indica que el sistema presentará oscilaciones pero que las mismas desaparecerán a lo largo del tiempo, procedemos a realizar la resolución del sistema en modo duro o sport.

#1:
$$\frac{2s^2 + 6197.46s + 30639.2}{400}$$

#2:
$$s^2 + 15.49365s + 76.598$$

#3:
$$\text{SOLVE}(s^2 + 15.49365s + 76.598, s)$$

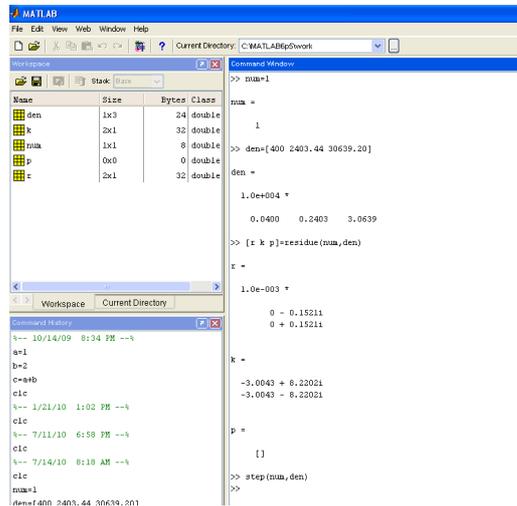
#4:
$$s = -7.746825 - 4.072432003i \vee s = -7.746825 + 4.072432003i$$

Fig. 17 Desarrollo de la ecuación característica del sistema en modo duro o sport

Como podemos analizar nuevamente las raíces del polinomio característico, son números complejos conjugados, razón por la cual el sistema es subamortiguado, lo cual nos indica que van a existir oscilaciones, pero que van a desaparecer y el sistema se estabilizará después de un cierto periodo de tiempo. Ahora se presentará el

análisis de gráficas realizado en Matlab y los datos obtenidos. Primero se mostrará graficas a respuestas escalón y luego la del impulso unitario.

En primera instancia se desarrollara el análisis en MATLAB en modo suave por lo que tenemos:



```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB\work

Workspace
Name Size Bytes Class
den 1x3 24 double
k 2x1 32 double
num 1x1 8 double
p 0x0 0 double
z 2x1 32 double

Command Window
>> num=1
num =
    1
>> den=[400 2403.44 30639.20]
den =
    1.0e+004 *
    0.0400    0.2403    3.0639
>> [r k p]=residue(num,den)
r =
    1.0e-003 *
    0 - 0.1521i
    0 + 0.1521i
k =
   -3.0043 + 6.2202i
   -3.0043 - 6.2202i
p =
    []
>> step(num,den)
>>
den=[400 2403.44 30639.20]
  
```

Fig. 18 Líneas de programación en MATLAB para el análisis en modo suave o confort con la aplicación de un escalón.

El primer análisis en modo suave o confort se lo realizó aplicándole un escalón y la gráfica que se obtuvo es la siguiente:

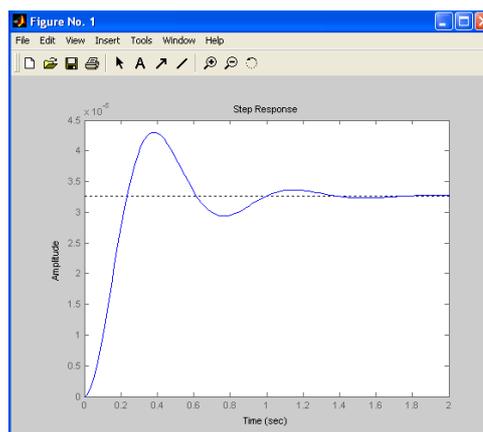
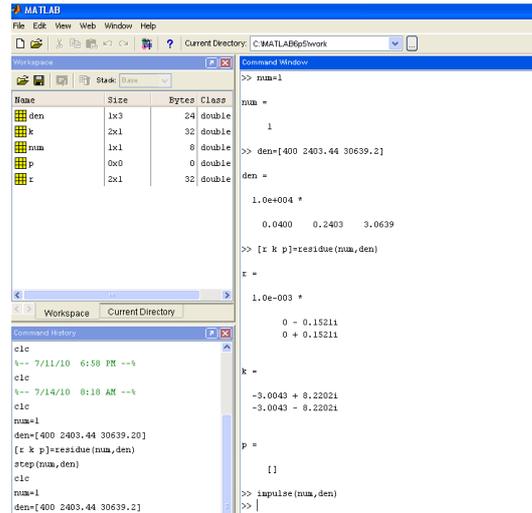


Fig. 19 Gráfica de respuesta a la aplicación de un escalón al sistema.

Como se puede apreciar el momento que se le aplique un escalón al sistema este se estabiliza cerca de los dos segundos, a continuación realizaremos el análisis en modo suave o confort para la aplicación de un impulso, por lo que tenemos:



```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB65\work

Workspace
Name      Size      Bytes  Class
den       1x3        24    double
k         2x1        32    double
num       1x1         8    double
p         0x0         0    double
z         2x1        32    double

Command Window
>> num=1
num =
     1
>> den=[400 2403.44 30639.2]
den =
    1.0e+004 *
    0.0400    0.2403    3.0639
>> [r k p]=residue(num,den)
r =
    1.0e-003 *
     0 - 0.1521i
     0 + 0.1521i
k =
    -3.0043 + 8.2202i
    -3.0043 - 8.2202i
p =
     []
>> impulse(num,den)
>> |

Command History
c1c
t-- 7/11/10 6:58 PM --t
c1c
t-- 7/14/10 8:10 AM --t
c1c
num=1
den=[400 2403.44 30639.2]
[r k p]=residue(num,den)
step(num,den)
c1c
num=1
den=[400 2403.44 30639.2]

```

Fig. 20 Líneas de programación en MATLAB para el análisis en modo suave o confort con la aplicación de un impulso.

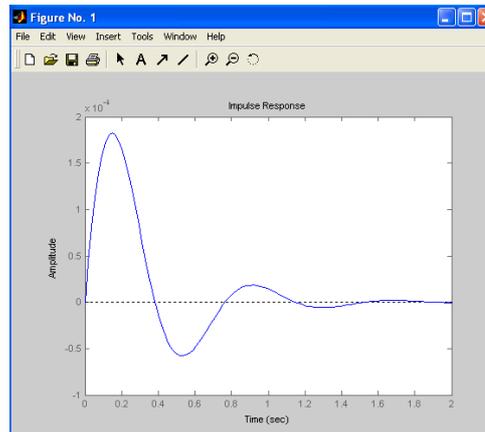


Fig. 21 Gráfica de respuesta a la aplicación de un impulso al sistema.

Cabe recalcar si apreciamos las dos graficas que se realizó en el modo suave o duro se puede apreciar que el sistema como se lo estableció anteriormente es un sistema subamortiguado y el cual se estabiliza al llegar a los dos segundos. Este mismo procedimiento lo realizaremos ahora en el modo duro o sport por lo que tenemos:

```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB62\work

Workspace
Name Size Bytes Class
den 1x3 24 double
r 2x1 32 double
num 1x1 8 double
p 0x0 0 double
k 2x1 32 double

Command Window
>> num=1
num =
    1
>> den=[400 6197.46 30639.20]
den =
    1.0e+004 *
    0.0400    0.6197    3.0639
>> [r k p]=residue(num,den)
r =
    1.0e-003 *
    0 - 0.30691i
    0 + 0.30691i
k =
    -7.7469 + 4.0724i
    -7.7469 - 4.0724i
p =
    []
>> step(num,den)
>>
Command History
[ r k p]=residue(num,den)
step(num,den)
clc
num=1
den=[400 2403.44 30639.2]
[ r k p]=residue(num,den)
clc
num=1
den=[400 2403.44 30639.2]
[ r k p]=residue(num,den)
impz(num,den)
clc

```

Fig. 22 Líneas de programación en MATLAB para el análisis en modo duro o sport con la aplicación de un escalón.

En la imagen se puede apreciar las líneas de programación en donde al sistema le aplicamos un escalón en el momento que el amortiguador se encuentra en la posición dura o sport, en este caso la gráfica del resultado necesariamente tiene que ser distinta a la anterior, la gráfica de este sistema es el siguiente:

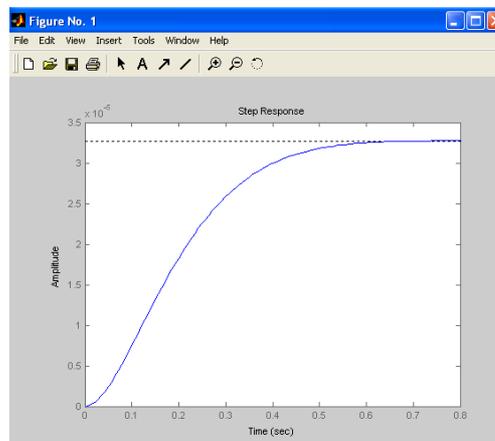
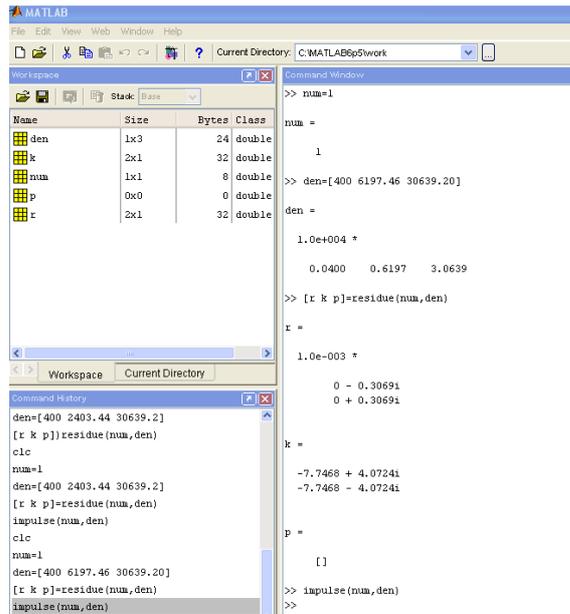


Fig. 23 Gráfica de respuesta a la aplicación de un escalón al sistema.

La gráfica obtenida como se puede apreciar no posee un instante de oscilación, este fenómeno si se le puede decir así se debe a que en modo duro o sport no se tiene en consideración el confort de los ocupantes se no este modo es para manejo a altas velocidades en carreteras que no presenten irregularidades y por lo tanto el vehículo es más estable al no presentar oscilaciones. Para el siguiente análisis al polinomio característico se le introduce un impulso por lo que tenemos:



The screenshot shows the MATLAB interface with the following components:

- Workspace:** A table listing variables:

Name	Size	Bytes	Class
den	1x3	24	double
k	2x1	32	double
num	1x1	8	double
p	0x0	0	double
r	2x1	32	double
- Command Window:** Contains the following code and output:


```
>> num=1
num =
    1
>> den=[400 6197.46 30639.20]
den =
    1.0e+004 *
    0.0400    0.6197    3.0639
>> [r k p]=residue(num,den)
r =
    1.0e-003 *
    0 - 0.30691i
    0 + 0.30691i
k =
   -7.7468 + 4.0724i
   -7.7468 - 4.0724i
p =
    []
>> impulse(num,den)
>>
```
- Command History:** Shows a sequence of commands including variable assignment, residue calculation, and impulse response plotting.

Fig. 24 Líneas de programación en MATLAB para el análisis en modo duro o sport con la aplicación de un impulso.

En la imagen anterior se puede ver las líneas de programación a continuación presentamos las graficas obtenida con la aplicación de un impulso en el modo duro o sport.

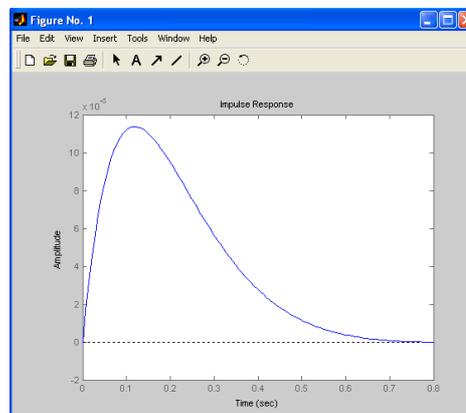


Fig. 25 Gráfica de respuesta a la aplicación de un impulso al sistema.

De igual manera vemos que el sistema se estabiliza en seguida y no presenta oscilaciones por lo que se mencionó anteriormente.

2.5 ANALISIS DE RESULTADOS

El procedimiento se ha realizado tanto en la parte matemática como en la parte práctica a lo que se refiere en la obtención de los datos de cada uno de los elementos, a nuestro modo de ver es una de las más lógicas que se pueden realizar y sobre todo la más práctica, los datos que se obtuvieron de los elementos tanto del muelle como del amortiguador son en cierta forma procedimientos empíricos pero se lo debió realizar de esta forma ya que no poseemos máquinas de pruebas universales que nos puedan dar este tipo de datos y sobre todo de este tipo de elementos, pero se llegó a realizar el cometido de este capítulo la de establecer tanto un ecuación característica del sistema como las gráficas de la misma, para culminar este capítulo analicemos las gráficas que se obtuvieron.

Este análisis lo realizaremos con respecto a la excitación del sistema que se lo implemento y en primera instancia lo realizaremos con la aplicación de un escalón las gráficas obtenidas fueron las siguientes:

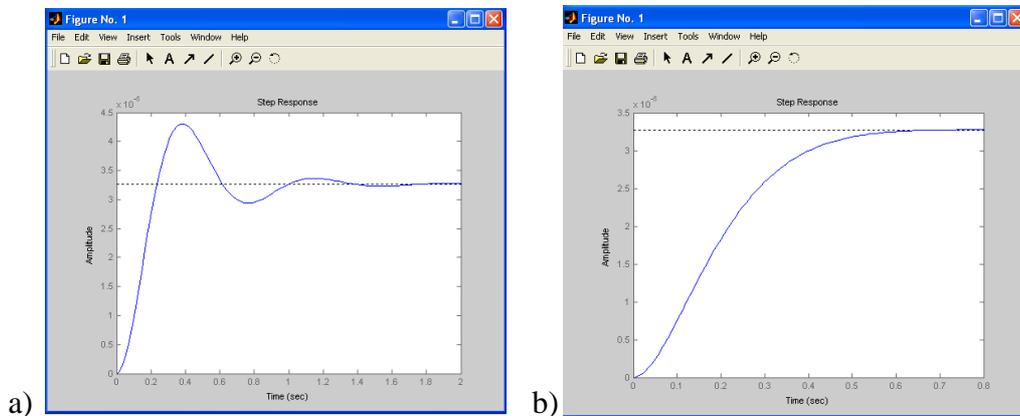


fig. 26 Graficas obtenidas en la aplicación de un escalón al sistema.

Como se puede ver que la figura a) el sistema genera una oscilación la cual se estabiliza en un periodo de tiempo esto se debe a que en el modo confort o normal para nuestro caso ya que poseemos un amortiguador con solo dos posiciones, podemos apreciar que el sistema le importa si así se le podría decir el confort de los ocupantes ya que este modo se lo utilizaría el momento que el vehículo se encuentre circulando por medio de una carretera que presente muchas irregularidades, por otra parte en la figura b) que es en modo duro al sistema no le importa el confort de los

ocupantes, este modo es utilizado cuando el vehículo circula a grandes velocidades y en carreteras que no posean irregularidades, la característica de este modo es que al ponerse el sistema de suspensión mucho más rígido (duro) el vehículo adquiere mayor estabilidad en la conducción pero en el momento que el mismo se encuentre en una autopista o en caminos que no presenten irregularidades.

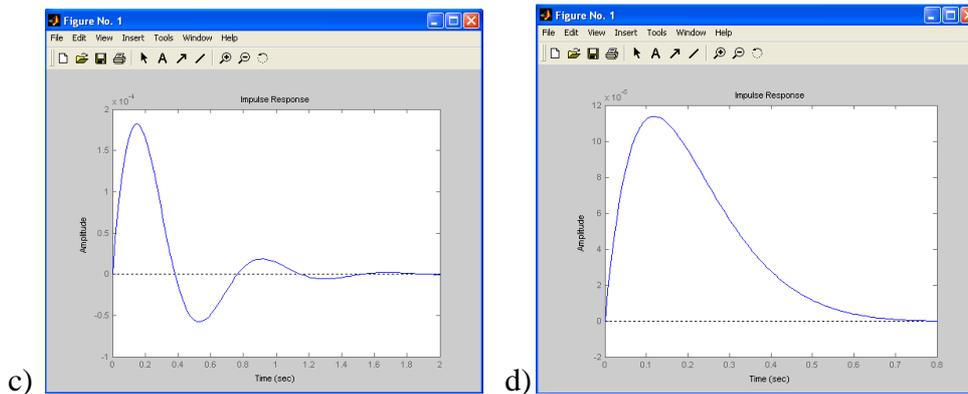


fig. 26 Graficas obtenidas en la aplicación de un impulso al sistema.

De igual manera que en el caso anterior podemos apreciar que las gráficas al introducirle un impulso se comportan de formas diferentes ya que se repite el efecto que se mencionó anteriormente el sistema en el momento que el amortiguador se encuentra en modo duro se estabiliza en poco tiempo que cuando el amortiguador se encuentra en modo suave, el momento que el amortiguador se encuentra en modo duro tiene un amortiguamiento crítico y no permite que se generen oscilaciones lo cual no es conveniente el momento que un vehículo circula a grandes velocidades.

2.6 ANALISIS MATEMATICO DEL MODELADO DEL SISTEMA DE SUSPENSION DE DOS GRADOS DE LIBERTAD REFERENTE A $\frac{1}{4}$ DE VEHÍCULO.

Para el cálculo de un modelo matemático de $\frac{1}{4}$ de vehículo utilizaremos un sistema de 2 grados de libertad tomaremos en cuenta las características del neumático, como el valor de la masa no suspendida. El objetivo de un análisis con un modelo matemático de dos grados de libertad es que se tomará en cuenta el movimiento de la masa no suspendida del vehículo con respecto a la calzada y de igual manera la de tener como referencia la forma de comportarse la masa suspendida con respecto a la calzada, hay que tomar en cuenta que las irregularidades

de la calzada no son constantes o a lo que nos referimos es que las irregularidades de la calzada no siguen un patrón lógico sino que las irregularidades son totalmente diferentes unas con otras por su forma de generarse, es por eso que en este análisis entraría las características del neumático, al neumático se le considera matemática y físicamente como un resorte conectado en serie ya que por su construcción este absorbe vibraciones del carretero haciendo que tanto el neumático y la masa no suspendida trabajen de 8 a 10 veces más que el conjunto muelle amortiguador haciendo que las vibraciones no afecten a la masa suspendida y por ende las mismas no se transfieran hacia los pasajeros.

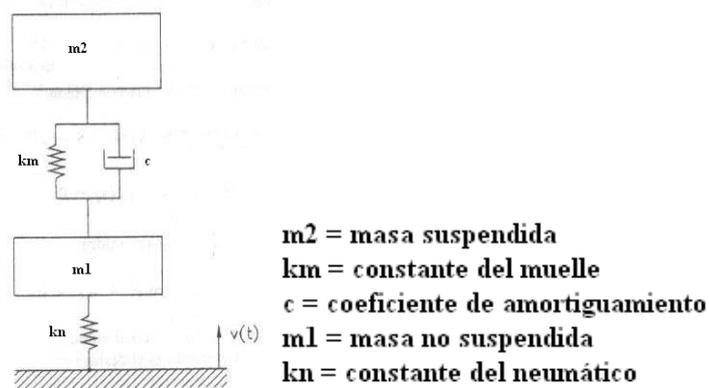


Fig. 27 Modelo matemático de 1/4 de vehículo

Para este cálculo establecemos dos condiciones de análisis en donde se establece como se es lógico que la masa m_2 es mayor que m_1 ($m_2 > m_1$) por lo tanto despreciamos el valor de la masa m_1 que hace referencia a la masa no suspendida, este primer análisis se lo establece para obtener valores de referencia de comportamiento de la masa suspendida con respecto al suelo, antes de comenzar el análisis establecemos un comportamiento dinámico que posee el sistema de suspensión que es que a la suspensión de un vehículo le afectan dos tipos de vibraciones las cuales son las directas e indirectas, las vibraciones directas son generadas directamente sobre la masa suspendida debido a un movimiento de cabeceo por una frenada o de bamboleo en el comportamiento en curva del vehículo y las indirectas que son generadas por vibraciones que afectan directamente la masa no suspendida que son transferidas hacia la masa suspendida. Retomando nuevamente lo que se ha establecido por lógica que la masa suspendida es de mayor valor que la no suspendida tenemos:

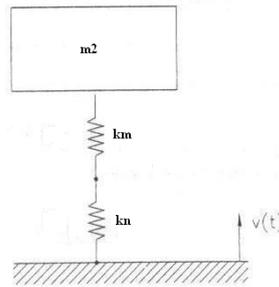


Fig. 28 Reducción del sistema a 1 grado de libertad.

Al momento que despreciamos el valor de m_1 tenemos la colocación de muelles en serie, cabe recalcar que el análisis del neumático se lo asemeja con propiedades elásticas de un muelle, ya que la misma funciona como un elemento elástico que absorbe y reacciona a las características del camino. Por medio de estudios se ha establecido que la frecuencia fundamental o la frecuencia natural si nos basamos en la fig.27 son de un valor de 8 a 10 veces mayor la que afecta a m_1 con respecto a la que afecta a m_2 , si aplicamos el teorema para encontrar su frecuencia natural del sistema de la fig. 28 tenemos:

$$k_e = \frac{k_m * k_n}{k_m + k_n}$$

$$\omega_{m_2} = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{k_e}{m_2}}$$

$$\omega_{m_2} = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{k_m * k_n}{(k_m + k_n)m_2}}$$

De esta manera tenemos la primera ecuación para encontrar la frecuencia natural para la m_2 , cabe recalcar que no estamos tomando en cuenta el valor del coeficiente de amortiguamiento, ahora establecemos la segunda condición que el valor de m_2 es mayor al de m_1 ($m_2 > m_1$) por lo que m_2 se mantiene estático con referencia a m_1 cuando la misma oscila por lo que tenemos:

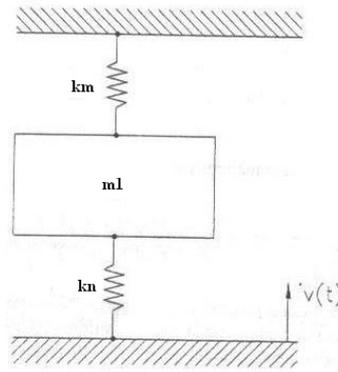


Fig. 29 Reducción a un modelo de 1 grado de libertad cuando oscila m1.

Por lo tanto la rigidez equivalente de este sistema se reduce a un modelo de valores de resortes en paralelo por lo que la frecuencia natural del mismo en la siguiente:

$$k_e = k_m + k_n$$

$$\omega_{m1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e}{m_1}}$$

$$\omega_{m1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_m + k_n}{m_1}}$$

Procediendo a realizar un cálculo obteniendo el valor de la rigidez del neumático podremos apreciar que el valor de la frecuencia disminuirá con respecto al valor de la masa suspendida. Ahora para partir a un modelado en donde contemplan valores con respecto al tiempo partimos desde un análisis del sistema por medio de ecuaciones diferenciales en donde lo realizaremos con respecto a cada masa en base a términos de posiciones de masa. Para realizar este análisis matemático establecemos la misma condición que se estableció al inicio que la masa m_2 es de mayor peso que la m_1 por lo que la masa m_2 se encuentra estática.

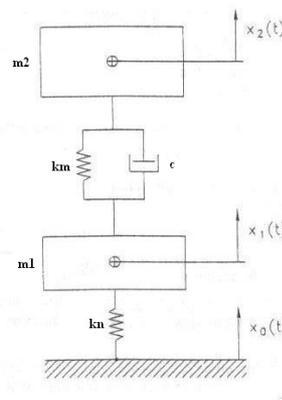


Fig. 30 Modelado completo de 1/4 de vehículo.

Realizamos el análisis de la masa m_2 por medio de un diagrama de cuerpo libre.

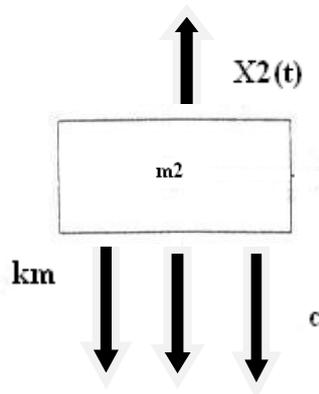


Fig. 31 Diagrama de cuerpo libre para m_2

En el diagrama de cuerpo libre podemos ver las fuerzas que se ejercen a la masa m_2 como son de la propia masa, la del muelle y la del amortiguador, ahora si plateamos las ecuaciones de relación de fuerza-posición tenemos:

$$m_2 \frac{d^2}{dt^2} x_2 = -c \frac{d}{dt} (x_2 - x_1) - km(x_2 - x_1)$$

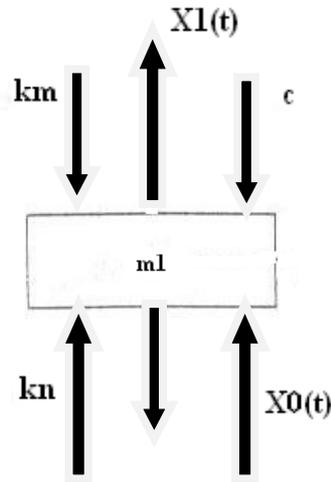
$$m_2 \frac{d^2}{dt^2} x_2 + c \frac{d}{dt} (x_2 - x_1) + km(x_2 - x_1) = 0$$

$$m_2 \frac{d^2}{dt^2} x_2 + c \frac{d}{dt} x_2 - c \frac{d}{dt} x_1 + kmx_2 - kmx_1 = 0$$

$$x_2; x_1 \rightarrow (t)$$

$$m_2 \frac{d^2}{dt^2} x_2(t) + c \frac{d}{dt} x_2(t) - c \frac{d}{dt} x_1(t) + kmx_2(t) - kmx_1(t) = 0 \quad (1)$$

Este análisis se lo realiza en función de posición de x_2 con respecto a x_1 ahora planteamos el segundo diagrama de cuerpo libre con respecto a m_1 .

Fig. 32 Diagrama de cuerpo libre para m_1 .

Por lo tanto la ecuación diferencial para m_1 es la siguiente:

$$m_1 \frac{d^2}{dt^2} x_1 = -c \frac{d}{dt} (x_1 - x_2) - km(x_1 - x_2) + kn(x_0 - x_1)$$

$$m_1 \frac{d^2}{dt^2} x_1 + c \frac{d}{dt} (x_1 - x_2) + km(x_1 - x_2) - kn(x_0 - x_1) = 0$$

$$m_1 \frac{d^2}{dt^2} x_1 + c \frac{d}{dt} x_1 - c \frac{d}{dt} x_2 + kmx_1 - kmx_2 - knx_0 + knx_1 = 0$$

$$x_2; x_1 \rightarrow (t)$$

$$m_1 \frac{d^2}{dt^2} x_1(t) + c \frac{d}{dt} x_1(t) - c \frac{d}{dt} x_2(t) + kmx_1(t) - kmx_2(t) - knx_0(t) + knx_1(t) = 0 \quad (2)$$

Ya que tenemos las ecuaciones que describen la posición de las dos masas procedemos a realizar la transformada de Laplace por lo que tenemos:

$$m_2 \frac{d^2}{dt^2} x_2(t) + c \frac{d}{dt} x_2(t) - c \frac{d}{dt} x_1(t) + kmx_2(t) - kmx_1(t) = 0 \quad (1)$$

$$m_2 S^2 x_2(S) + cSx_2(S) - cSx_1(S) + kmx_2(S) - kmx_1(S) = 0$$

$$(m_2 S^2 + cS + km)x_2(S) - (cS + km)x_1(S) = 0$$

$$m_1 \frac{d^2}{dt^2} x_1(t) + c \frac{d}{dt} x_1(t) - c \frac{d}{dt} x_2(t) + kmx_1(t) - kmx_2(t) - knx_0(t) + knx_1(t) = 0 \quad (2)$$

$$m_1 S^2 x_1(S) + cSx_1(S) - cSx_2(S) + kmx_1(S) - kmx_2(S) - knx_0(S) + knx_1(S) = 0$$

$$-(cS + km)x_2(S) + (m_1 S^2 + cS + km + kn)x_1(S) - knx_0(S) = 0$$

$$-(cS + km)x_2(S) + (m_1 S^2 + cS + km + kn)x_1(S) = knx_0(S)$$

Para encontrar los valores correspondientes a x_2 y a x_1 procedemos a plantear la siguiente matriz:

$$\begin{aligned}(m_2 S^2 + cS + km)x_2(S) - (cS + km)x_1(S) &= 0 \\ -(cS + km)x_2(S) + (m_1 S^2 + cS + km + kn)x_1(S) &= knx_0(S)\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} m_2 S^2 + cS + km & -(cS + km) \\ -(cS + km) & m_1 S^2 + cS + km + kn \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} x_2(S) \\ x_1(S) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ knx_0(S) \end{bmatrix}$$

Para encontrar x_2 establecemos la siguiente matriz

$$\begin{aligned}(m_2 S^2 + cS + km)x_2(S) - (cS + km)x_1(S) &= 0 \\ -(cS + km)x_2(S) + (m_1 S^2 + cS + km + kn)x_1(S) &= knx_0(S)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_2(S) &= \frac{\begin{bmatrix} 0 & -(cS + km) \\ knx_0(S) & m_1 S^2 + cS + km + kn \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} m_2 S^2 + cS + km & -(cS + km) \\ -(cS + km) & m_1 S^2 + cS + km + kn \end{bmatrix}} \\ x_2(S) &= \frac{(cS + km) * knx_0(S)}{(m_2 S^2 + cS + km)(m_1 S^2 + cS + km + kn) - (cS + km)^2}\end{aligned}$$

$$\frac{x_2(S)}{x_0(S)} = \frac{(cS + km) * kn}{(m_2 S^2 + cS + km)(m_1 S^2 + cS + km + kn) - (cS + km)^2} \quad (3)$$

La ecuación (3) que obtuvimos es el valor de x_2 con respecto a x_0 , ahora lo que procedemos a realizar el mismo procedimiento para encontrar el valor de x_1 , de igual manera lo que se planteó anteriormente obtenemos la ecuación de transferencia de x_1 con respecto a x_0 .

$$\begin{aligned}x_1(S) &= \frac{\begin{bmatrix} m_2 S^2 + cS + km & 0 \\ -(cS + km) & knx_0(S) \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} m_2 S^2 + cS + km & -(cS + km) \\ -(cS + km) & m_1 S^2 + cS + km + kn \end{bmatrix}} \\ x_1(S) &= \frac{(m_2 S^2 + cS + km) * knx_0(S)}{(m_2 S^2 + cS + km)(m_1 S^2 + cS + km + kn) - (cS + km)^2} \\ \frac{x_1(S)}{x_0(S)} &= \frac{(m_2 S^2 + cS + km) * kn}{(m_2 S^2 + cS + km)(m_1 S^2 + cS + km + kn) - (cS + km)^2}\end{aligned}$$

Ahora ya que tenemos las ecuaciones de transferencia lo que nos hace falta es obtener el valor de la constante del neumático, para realizar la obtención de esta constante el método más directo y el que recomiendan algunos autores es la obtención de este valor con la aplicación de cargas al neumático con respecto a cierta

presión, ya que un proceso más complejo de cálculo implica un análisis con valores tanto constructivos como de funcionamiento y los cuales no se encuentran dentro de las limitaciones de este trabajo. Las ecuaciones que se han establecido como 3 y 4 en este apartado describen la forma de comportamiento de las masas m_2 como m_1 con respecto a un valor de desplazamiento de forma vertical generado por el carretero este desplazamiento vertical se encuentra en función del tiempo.



Fig. 33 Caracterización del neumático en un banco de pruebas universal. (Fuente de la imagen de la publicación de Ing. JUAN JOSÉ ARBELÁEZ T, Ing. JUAN PABLO MARÍN Q, MODELADO MULTICUERPO DE UN CUARTO DE VEHÍCULO LIVIANO)

En la imagen anterior podemos apreciar la forma de obtención de la constante del neumático por medio de pruebas a cierta presión de inflado del neumático en la imagen anterior están utilizando un neumático 185/70 R 13 84 H a una presión de 2,2 bar y el valor de la rigidez del neumático que obtienen es de 127,2 KN/m, el neumático que utilizaremos es la Continental Sport Contact 185/60 R14 82 H el cual soporta una presión máxima de 3 bar, la presión a la que se realizará las pruebas en el banco es de 30 Psi \approx 2,06 bar . La capacidad de carga máxima del neumático es la siguiente:

$$P_{\text{maxima}} = 45(1,0292)^n (kg)^5$$

⁵Formula obtenida de LUQUE, ALVAREZ, VERA “Ingeniería del Automóvil: Sistema y comportamiento Dinámico” Pg. 37

En donde n = índice de carga el cual si nos referimos al neumático es de 82 por lo que tenemos:

$$P_{\text{maxima}} = 45(1,0292)^{82}$$

$$P_{\text{maxima}} = 476,64 \text{ kg}$$



Fig. 34 Neumático a utilizarse en el banco de pruebas.

En la imagen anterior tenemos el neumático y el aro que utilizaremos en el banco de pruebas, como podemos apreciar que la carga máxima es de 476,64 kg lo cual está dentro del peso que se tomó para realizar los cálculos que era de 400 kg. La obtención de este valor se lo realizará de una manera un poco más empírica ya que no poseemos una máquina universal de pruebas para obtener este valor de rigidez del neumático y este valor no son proporcionados por las casas fabricantes de neumáticos. Para realizar la obtención del valor de rigidez del neumático procederemos a realizarlo por medio de la aplicación de la carga en una prensa en donde tenemos la facilidad de un manómetro el cual nos dará la presión que se encuentra ejerciendo la misma sobre el neumático.



Fig. 35 Cálculo de la constante de rigidez del neumático.

En la imagen que acabamos de presentar tenemos ya colocada el neumático en la prensa para realizar algunas pruebas para encontrar la constante de rigidez del

neumático en el manómetro nos entregan distintas escalas las cuales son sumamente altas de toneladas de presión y en kg/cm^2 la cual es un poco más detallada la cual procederemos a utilizar. Lo que necesitamos es sacar el área del émbolo de la prensa el cual es de diámetro de 70 mm en donde sacamos el área:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (35^2)$$

$$A = 3848.45\text{mm}^2 \approx 38.4845\text{cm}^2 \approx 0.00384845\text{m}^2$$

Ya que tenemos el área y tenemos la presión aproximada que utilizaremos por medio del manómetro podemos obtener la fuerza que se encuentra aplicando sobre el neumático, para obtener la distancia que varía utilizaremos un calibrador pie de rey.



Fig. 36 Medición de la altura de la cámara del neumático.

En la imagen anterior tenemos la medición de la altura de la cámara del neumático la cual nos interesa medir para encontrar la constante de rigidez. Los valores obtenidos por medio de esta prueba aunque como se ha mencionado bastante empírica son los que detallamos a continuación:

Presión (kg/cm^2)	Fuerza		Distancia (mm)	
	kgf	N	D1	D2
0	0	0	92	0
2	79,969	754,80	86	4
4	153,938	1509,61	82	10
6	230,907	2264,42	79	13
8	307,876	3019,23	73	19

Tabla 6. Datos obtenidos en la prueba del neumático.

En la tabla anterior son los datos aproximados que se pudieron obtener en base a esta prueba empírica que se realizó en el neumático, la razón por la cual se obtuvieron estos valores son que al ser el neumático considerado analógicamente como un muelle se puede obtener el valor de la constante de rigidez en base a la fuerza de aplicación con el desplazamiento de la misma cabe recalcar que el valor D2 es el valor de desplazamiento con referencia a un punto de medición por lo tanto aplicamos la misma forma de cálculo que utilizamos para sacar la constante del muelle por lo que tenemos:

Fuerza (N)	Distancia		Constante
	mm	m	N/m
754,80	4	0,004	188700
1509,61	10	0,01	150961
2264,42	13	0,013	174186,15
3019,23	19	0,019	158906,84

Tabla 7. Datos de la constante de rigidez a una presión de 30 psi.

En la tabla anterior podemos ver los valores obtenidos en base a las pruebas realizadas, los valores de presión que se colocaron son valores aproximados ya que por los rangos de escala demasiado grandes estos valores se los aproximaron con en base a algunos valores de partición que se realizaron la constante resultante es la siguiente:

$$K_{final} = \frac{188700 + 150961 + 174186,15 + 158906,84}{4}$$

$$K_{final} = 168188,49 \frac{N}{m}$$

El valor obtenido es un valor sumamente empírico pero este lo ocuparemos para motivos de cálculo en el modelo de dos grados de libertad las ecuaciones que se obtuvieron son las siguientes:

$$\frac{x_1(S)}{x_0(S)} = \frac{(m_2 S^2 + cS + km) * kn}{(m_2 S^2 + cS + km)(m_1 S^2 + cS + km + kn) - (cS + km)^2} \quad (4)$$

$$\frac{x_2(S)}{x_0(S)} = \frac{(cS + km) * kn}{(m_2 S^2 + cS + km)(m_1 S^2 + cS + km + kn) - (cS + km)^2} \quad (3)$$

Las ecuaciones obtenidas anteriormente son las representan el movimiento de cada una de las masas, la no suspendida como la suspendida con respecto al movimiento de la calzada, ya que tenemos todos los datos podemos reemplazarlos para obtener gráficos de funcionamiento. Los datos de la masa no suspendida son los siguientes:

Elemento	masa (kg)	Fuerza (peso) (N)
Neumático y aro	15	147,15
Mangueta (manzana) y mesa de suspensión	23	225,63
Amortiguador y muelle	12	117,72
total	50	490,5

Tabla 8. Caracterización de los elementos de la suspensión (toma de masas).

En la tabla anterior tenemos los valores de los elementos que se consideran parte de la masa no suspendida y el total es de 490,5 N. los valores anteriores son los siguientes:

Masa suspendida m2	400kg.
Masa no suspendida m1	50kg.
Coefficiente de amortiguamiento mod. suave	2403,44 N*s/m
Coefficiente de amortiguamiento mod. duro	6197,46 N*s/m
Constante de rigidez del muelle	30639,2 N/m
Constante de rigidez del neumático	168188,49 N/m

Tabla 9. Valores de los elementos del sistema de suspensión.

En la tabla anterior podemos ver que tenemos todos los valores de los elementos involucrados en el sistema de suspensión que tenemos para colocar en el banco de pruebas, como pudimos apreciar en el desarrollo de este capítulo los valores de los elementos que hemos seleccionado para la utilización en el banco de pruebas son obtenidos por métodos sumamente empíricos los cuales no son valores reales sino aproximados ya que hemos utilizado equipos básicos para este efecto, si reemplazamos en las ecuaciones que se obtuvo en el análisis del modelo de dos grados de libertad tenemos:

Para el modo suave:

$$\frac{x_1(S)}{x_0(S)} = \frac{(400S^2 + 2403,44S + 30639,2) * 168188,49}{(400S^2 + 2403,44S + 30639,2)(50S^2 + 2403,44S + 30639,2 + 168188,49) - (2403,44S + 30639,2)^2}$$

$$\frac{x_2(S)}{x_0(S)} = \frac{(2403,44S + 30639,2) * 168188,49}{(400S^2 + 2403,44S + 30639,2)(50S^2 + 2403,44S + 30639,2 + 168188,49) - (2403,44S + 30639,2)^2}$$

Para el modo duro:

$$\frac{x_1(S)}{x_0(S)} = \frac{(400S^2 + 6197,46S + 30639,2) * 168188,49}{(400S^2 + 6197,46S + 30639,2)(50S^2 + 6197,46S + 30639,2 + 168188,49) - (6197,46S + 30639,2)^2}$$

$$\frac{x_2(S)}{x_0(S)} = \frac{(2403,44S + 30639,2) * 168188,49}{(400S^2 + 6197,46S + 30639,2)(50S^2 + 6197,46S + 30639,2 + 168188,49) - (6197,46S + 30639,2)^2}$$

En base a estas ecuaciones procedemos a realizar las gráficas en el MATLAB, pero antes de realizar la obtención de las gráficas procedemos a realizar la simplificación de las ecuaciones por lo que tenemos:

Para el modo suave:

$$\frac{x_1(S)}{x_0(S)} = \frac{67275396S^2 + 404230944,4S + 5153160783}{20000S^4 + 1081548S^3 + 81063036S^2 + 404230944,4S + 5153160783}$$

$$\frac{x_2(S)}{x_0(S)} = \frac{404230944,4S + 5153160783}{20000S^4 + 1081548S^3 + 81063036S^2 + 404230944,4S + 5153160783}$$

Para el modo duro:

$$\frac{x_1(S)}{x_0(S)} = \frac{67275396S^2 + 1042346485S + 5153160783}{20000S^4 + 2788870,5S^3 + 81063036S^2 + 1042346485S + 5153160783}$$

$$\frac{x_2(S)}{x_0(S)} = \frac{1042346485S + 5153160783}{20000S^4 + 2788870,5S^3 + 81063036S^2 + 1042346485S + 5153160783}$$

Ahora que tenemos simplificada las ecuaciones procedemos a realizar el ingreso de los valores en el MATLAB para obtener sus gráficas. De igual manera como se realizó en el análisis del sistema de suspensión con solo un grado de libertad en este caso también comenzaremos analizando las dos condiciones de funcionamiento del

amortiguador. El primer análisis que realizaremos es para el modo suave, este análisis se lo realizará con respecto al movimiento de la masa no suspendida con respecto a la entrada de movimiento de $X_0(t)$ con respecto a X_1 con el ingreso de la ecuación de un impulso y de un escalón. Si le inyectamos a la ecuación un impulso tenemos

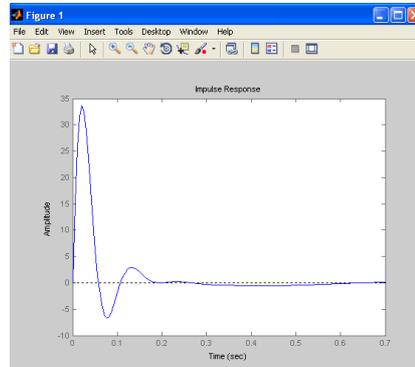


Fig. 37 Gráfica de la masa no suspendida con respecto a la entrada X_0 de un impulso.

Como podemos ver en la gráfica al ingresar la ecuación que tenemos obtenemos esta forma de onda y como se ha mencionado anteriormente la masa no suspendida soporta mucha más carga y frecuencia de oscilación que la que llega a la masa suspendida ahora veamos qué es lo que sucede con la masa suspendida en las mismas condiciones:

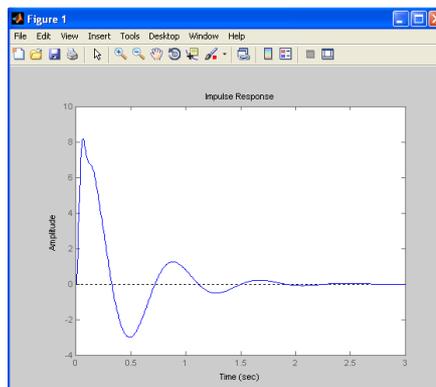


Fig. 38 Gráfica de la masa suspendida con respecto a la entrada X_0 de un impulso.

Como podemos ver en la gráfica con diferencia a la anterior la amplitud de la onda es mucho más pequeña, pero tenemos que el tiempo de estabilización es mucho más largo en la gráfica de la masa suspendida, veamos qué es lo que sucede si a las ecuaciones de movimiento le inyectamos un escalón por lo que tenemos:

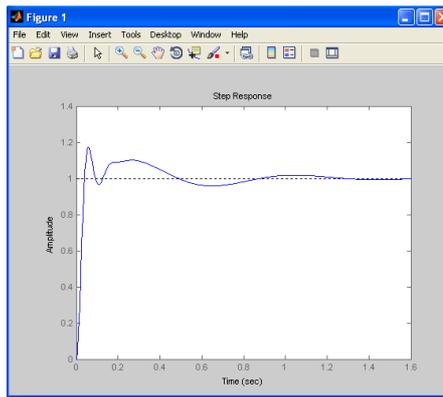


Fig. 39 Gráfica de la masa no suspendida con respecto a la entrada X_0 de un escalón.

La imagen anterior el momento que le inyectamos un escalón unitario vemos que la amplitud de la respuesta es mucho menor que si le hubiésemos inyectado un impulso pero vemos que el tiempo que demora en estabilizarse la ecuación es mucho más que la que se obtuvo en el análisis anterior, veamos cómo se comporta la masa suspendida.

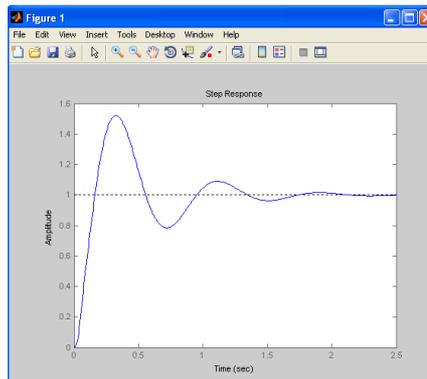


Fig. 40 Gráfica de la masa suspendida con respecto a la entrada X_0 de un escalón.

De igual manera vemos que la gráfica ha disminuido en su amplitud pero el tiempo de estabilización de la ecuación es la misma por lo que podemos plantear una primera conclusión que este tipo de respuesta se debe a la dinámica del movimiento del vehículo el momento que se encuentra en movimiento en la carretera, este modo del sistema de suspensión permite que se genere este tipo de movimiento y de respuesta ya que se encuentra en modo suave o confortable por lo que debe de demorar en estabilizar el sistema ya que este modo se centra en amortiguar paulatinamente las oscilaciones a las que se encuentra sometida es sistema de suspensión, ahora veamos qué es lo que sucede con el modo duro. De igual manera realizaremos el análisis en el modo duro con el ingreso a las ecuaciones de un

impulso y de un escalón para ver cómo se comportan las masas que se encuentran involucradas en el sistema de suspensión por lo que tenemos:

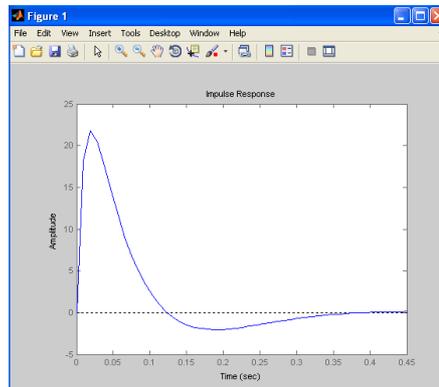


Fig. 41 Gráfica de la masa no suspendida con respecto a la entrada X_0 de un impulso.

En la imagen anterior podemos ver que en modo duro o modo sport la amplitud de la onda no se mantiene en el mismo valor que se obtuvo en la gráfica en modo suave y a comparación la onda ha disminuido de amplitud, pero como podemos ver el tiempo que se estabiliza la onda es mucho menor que la anterior y no permite generar más oscilaciones veamos que se obtiene con respecto a la masa suspendida X_2 .

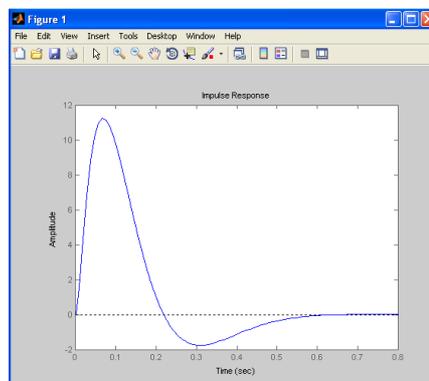


Fig. 42 Gráfica de la masa suspendida con respecto a la entrada X_0 de un impulso.

En la gráfica anterior vemos que la amplitud de la onda aumenta y no se mantiene en valores de amplitud bajos por lo que puede generar malestar a los pasajeros, este resultado se obtiene que la suspensión se vuelve más rígida y no absorbe las oscilaciones que se encuentra dentro del sistema, pero esta se estabiliza en menos tiempo que en el modo suave por lo que como se ha mencionado en partes anteriores el modo duro es un modo en donde se obtiene mucha más estabilidad del vehículo en altas velocidades por lo que en este modo no es un estado en donde se tome mucho en

cuenta el confort hacia los pasajeros. Como en el caso anterior veamos cómo se comporta el sistema el momento que le introducimos un escalón por lo que tenemos:

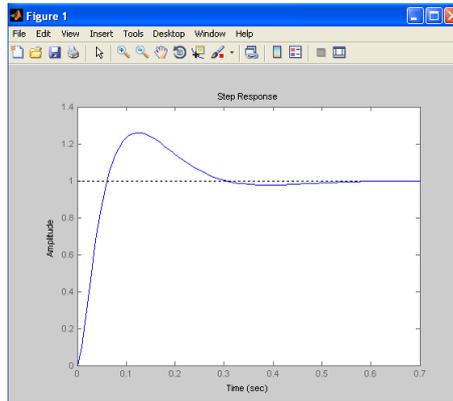


Fig. 43 Gráfica de la masa no suspendida con respecto a la X_0 de un escalón.

Vemos como en casos anteriores en esta gráfica tiende a darnos la oposición de los elementos a generar oscilaciones para estabilizar el sistema sino que se estabiliza sin generar demasiadas oscilaciones por último veremos qué es lo que sucede con la masa suspendida.

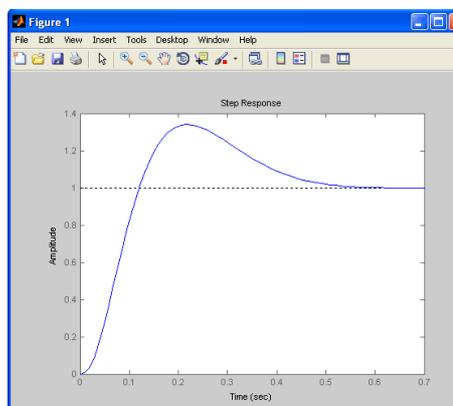


Fig. 44 Gráfica de la masa suspendida con respecto a la X_0 de un escalón

Como podemos ver en la gráfica anterior es que la amplitud de la onda ha disminuido con respecto al análisis que se desarrolló en una primera instancia en donde la amplitud de la onda era de un mayor valor que la última figura que se obtuvo pero cabe recalcar que aparte de la disminución de la amplitud de la onda el tiempo de estabilización de la masa suspendida ha disminuido ya que en este modo como se ha mencionado anteriormente este modo no se lo toma en cuenta mucho el confort del pasajero, pero este modo no se lo utiliza frecuentemente en carreteros que se encuentre en malas condiciones sino a este modo se lo utiliza en momentos que se

requiera circular a altas velocidades o en casos que el vehículo circule por carreteras que tengan pocas irregularidades, a una de las conclusiones que podemos llegar es que en la realidad es que la masa suspendida no se estabiliza en un tiempo corto es porque se tiene las vibraciones indirectas las cuales son transferidas desde la masa no suspendida a la masa suspendida, otra realidad que se demostró es que la si hacemos referencia a las amplitudes de la masa no suspendida con respecto a la suspendida la primera soporta más que la suspendida si hacemos referencia a la frecuencia de oscilación de las mismas las podemos obtener de la siguiente manera:

$$\omega_{m1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{km + kn}{m_1}}$$

$$\omega_{m2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{km * kn}{(km + kn)m_2}}$$

Si aplicamos estas fórmulas podemos tener las frecuencias de oscilación de las mismas por lo que tenemos:

$$\omega_{m1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{km + kn}{m_1}}$$

$$\omega_{m1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{30639,2 + 168188,49}{50}}$$

$$\omega_{m1} = 10.03 \text{ Hz}$$

$$\omega_{m2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{km * kn}{(km + kn)m_2}}$$

$$\omega_{m2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{30639,2 * 168188,49}{(30639,2 + 168188,49)400}}$$

$$\omega_{m2} = 1,28 \text{ Hz}$$

Vemos que aplicando estas fórmulas obtenemos las frecuencias a las que se encontrarían oscilando cada una de las masas, con respecto a la oscilación de la masa suspendida vemos que la misma se encuentra en un rango bajo que se ha establecido en el diseño de un sistema de suspensión en donde si nos basamos a la tabla 1 que se ha planteado para el comienzo de este capítulo este valor se encuentra dentro de los parámetros óptimos de un sistema de suspensión, si aplicamos la fórmula de frecuencia que se obtuvo en el modelo de un grado de libertad veamos qué es lo que sucede con los dos estados del amortiguador para ver si tenemos alguna diferencia:

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M} - \left(\frac{R}{2M}\right)^2}$$

modo suave

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M} - \left(\frac{R}{2M}\right)^2}$$

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{30639,2}{400} - \left(\frac{2403,44}{2*400}\right)^2}$$

$$\omega_n = 1.30 \text{ Hz}$$

modo duro

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{30639,2}{400} - \left(\frac{6197,49}{2*400}\right)^2}$$

$$\omega_n = 0,648 \text{ Hz}$$

Vemos que las frecuencias ha variado mucho a pesar que para el modelo de un grado de libertad se toma en cuenta el valor del coeficiente de amortiguamiento, pero cabe recalcar que la masa no suspendida es la que tiene un mayor valor de frecuencia que la masa suspendida por lo que podemos ver que la masa no suspendida influye en gran parte en la absorción de frecuencia que se puede transmitir hacia la masa suspendida debido a las características del neumático, para este análisis se lo ha realizado con valores de coeficientes de amortiguamiento y de rigidez que en cierta forma no son los exactos ya que la forma de obtenerlos se los realizó de una manera sumamente empírica sin tomar en cuenta factores constructivos de los elementos, ahora sabemos que el sistema de suspensión ideal es un sistema de suspensión sobreamortiguado que es lo que se quiere decir que el sistema no genera oscilaciones remanentes sino que el sistema se estabiliza inmediatamente, pero como obtenemos un sistema de suspensión de este tipo es por medio del valor del coeficiente de amortiguamiento el cual debe de ser de mayor valor del coeficiente de amortiguamiento crítico que se analizó en instancias anteriores en donde si tomamos la ecuación característica del sistema obtendríamos valores reales en el plano complejo y no con raíces imaginarias como las estamos obteniendo ahora, pero porque no se obtiene o no se diseñan las suspensiones con estas características es por que generaría incomodidad a los ocupantes del vehículo pero en nuestro caso cual es el valor del coeficiente de amortiguamiento crítico lo cual aplicaremos la siguiente fórmula:

$$c_c = 2 * m \sqrt{\frac{K}{M}} \quad 6$$

Esta fórmula se aplicaría para el modelo de un grado de libertad ya que para el modelo de dos grados de libertad si utilizamos la ecuación característica del sistema y obtenemos sus raíces, con un solo valor que se encuentre en la coordenada imaginaria el sistema es subamortiguado, el sistema subamortiguado es en la instancia en donde el coeficiente de amortiguamiento es menor al coeficiente crítico, ahora obtengamos el valor del coeficiente crítico:

$$c_c = 2 * m \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$c_c = 2 * 400 \sqrt{\frac{30639,2}{400}}$$

$$c_c = 7001.622$$

modo suave

$$2403,44 < 7001.622$$

modo duro

$$6197,46 < 7001.622$$

Como podemos ver en los valores obtenidos anteriormente los valores son inferiores al coeficiente de amortiguamiento crítico por lo que el sistema es subamortiguado, pero cabe recalcar que en el modo duro el sistema tiende a ser críticamente amortiguado ya que su valor casi es igual al valor crítico, un sistema críticamente amortiguado es un sistema en donde el valor del coeficiente de amortiguamiento es igual al coeficiente de amortiguamiento crítico en lo que se traduce que el valor del coeficiente de amortiguamiento es de valor mínimo para que el sistema sea no vibratorio. Cabe recalcar que el sistema de suspensión en modo duro se utilizaría en lugares donde las carreteras no presenten desperfectos y el vehículo circule a grandes velocidades en donde tendríamos mayor estabilidad en el mismo.

⁶Fuente de la fórmula R. C. HIBBLELER, Ingeniería Mecánica: Dinámica Pg. 582

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL BANCO DE SUSPENSION SEMI-ACTIVA

CAPITULO 3



CAPITULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL BANCO DE
SUSPENSION SEMI-ACTIVA

3.0 INTRODUCCION

En el presente capítulo se exponen algunas de las principales ideas generadas, como parte del proceso de diseño, sobre la configuración funcional del banco de pruebas, al igual que el esquema del banco seleccionado para un diseño de mayor detalle. Tomando en cuenta las características físicas y funcionales de los elementos de suspensión tomados para el banco.

Como primer paso se realizará un modelo genérico de la estructura la cual servirá como base para la colocación de los demás sistemas que intervendrán en el banco de pruebas, la concepción de distintos implementos que se puedan adaptar a una estructura básica para que el funcionamiento del mismo esté de acuerdo a las necesidades de funcionamiento. Estos dispositivos corresponden a un marco estructural principal que soporte los elementos del banco, a la mesa que sostendría a los elementos de la suspensión, al elemento vibrante, al sistema que generara el movimiento para el elemento vibrante y al sistema de adquisición de datos el cual se lo expondrá en el capítulo siguiente.

Para generar el diseño conceptual final, se analizan diversas configuraciones mecánicas para lograr la funcionalidad de los aspectos que se establecen para el banco de suspensión, estableciendo las principales ventajas y desventajas, para lo cual se realizará el análisis para definir el diseño final del banco.

3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL BANCO.

Antes de comenzar generando una lluvia de ideas para determinar los diseños que se podrían obtener para la definición y construcción del diseño final del banco de suspensión debemos establecer ciertos tipos de requerimientos para el diseño tanto conceptual como de construcción tratando de optimizar de mejor manera los recursos disponibles para el mismo. El proceso general de diseño involucra diversas etapas secuenciales e interrelacionadas, que se van obteniendo a medida que se desarrolla lo planteado. El esquema general de diseño propone etapas como el establecimiento de especificaciones y requisitos a cumplir, características generales de los principales conjuntos, diseño preliminar y desarrollo. Naturalmente, el proceso global incluye,

posterior a estas etapas, la construcción del banco y la ejecución de pruebas de desempeño, que finalmente dan lugar al diseño final. Inicialmente para el diseño de nuestro banco de pruebas tenemos que considerar todos elementos necesarios que van a interactuar de una forma u otra en el funcionamiento, ya que de estos depende la forma y las dimensiones que va tomando el banco. Por lo que establecemos un diagrama de flujo de diseño para considerar los requerimientos de cada elemento partiendo desde el elemento principal que es el sistema de suspensión con todos sus elementos

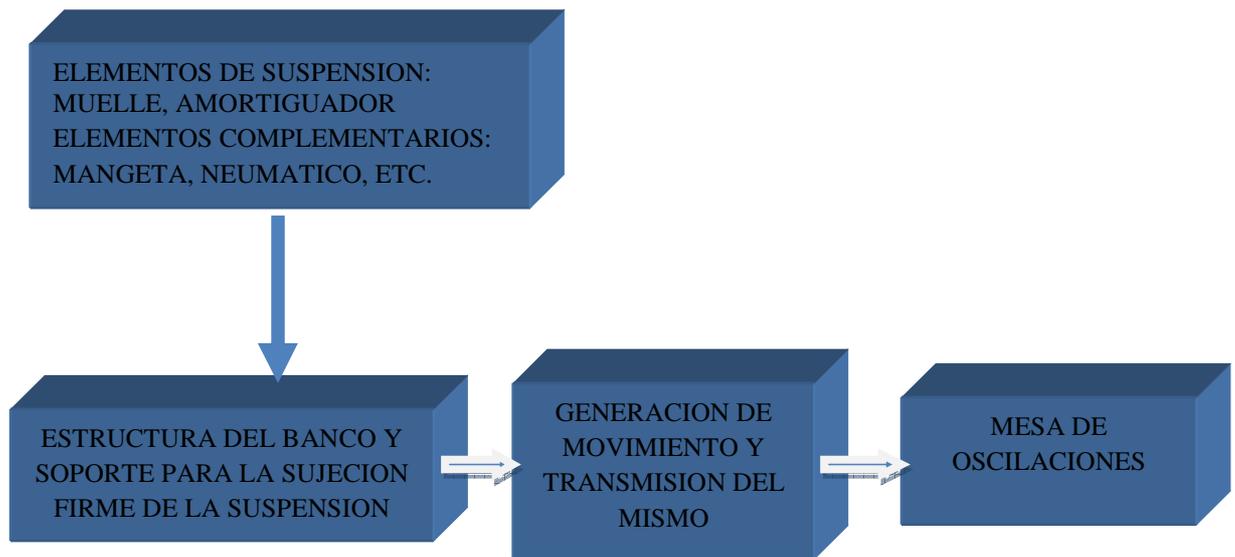


Fig. 1 Flujo de diseño del banco de estudio.

En el proceso de diseño como primera interrogante es la forma de la estructura en donde se colocará el sistema de suspensión ya que hemos partido de un elemento ya establecido, la estructura debe ser de acero con la utilización de una viga “perfil de acero”, la estructura debe de estar diseñada para soportar la carga de todos los elementos de la suspensión y al funcionamiento del mismo lo cual es lo más importante para evitar que las vigas se tiendan a pandear o flexionar el momento que funcione el mismo. Por otra parte el diseño debe de estar de tal forma que albergue a todos los elementos involucrados en el banco como ya antes se mencionó como son elementos mecánicos, electrónicos, sistemas de control, etc. Y también debe facilitarnos el montaje y desmontaje de los elementos de la suspensión y los elementos mecánicos y electrónicos para el funcionamiento del banco.

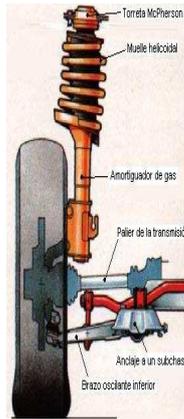


Fig. 2 Sistema de suspensión tipo McPherson (Fuente de la imagen www.mwcanicavirtual.org)

En la gráfica podemos ver la forma esquemática la suspensión McPherson la cual estamos utilizando con la única diferencia es que el muelle es de forma cónica y el amortiguador posee ciertas posiciones de viscosidad (calibres de paso de diámetros distintos). La generación del movimiento el cual vamos a dar en el banco es muy importante de establecer ya que el sistema de estudio o la forma de realizar el estudio del sistema de suspensión se lo realizará de una forma estática, a que se refiere de una forma estática que solo se generará un movimiento vertical para accionar el sistema de suspensión y no se realizará con movimientos rotatorios del neumático o simulando el estado del mismo en una curva e incluso en el momento que se encuentra en un frenazo o en un instante de aceleración.

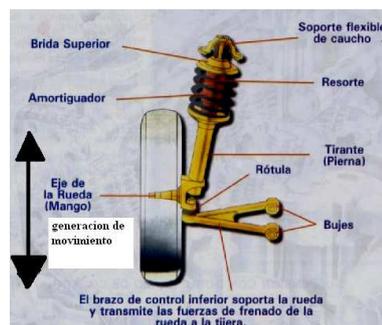


Fig. 3 Esquemática del movimiento (Fuente de la imagen www.mecanicavirtual.org)

En la imagen se representa el movimiento que se generará el banco de pruebas para el accionamiento del mecanismo de la suspensión. Los valores de referencia con los que vamos a comparar y que vamos a tomar en cuenta para el análisis de resultados

son tomamos de la tabla1 presentada en el capítulo II, es decir que el banco de pruebas debe funcionar de tal forma que el sistema de suspensión trabaje de 0 a 25 Hz.

3.2 GENERACION DE PROTOTIPOS

Para poder generar un prototipo en una primera instancia debemos establecer el principio de funcionamiento a la que le vamos a someter al banco.

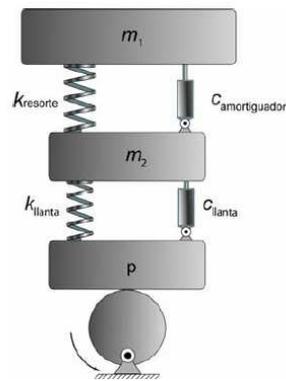


Fig. 4 Esquema cinemático de un cuarto de vehículo (Fuente de la imagen www.tecnotun.com)

Establecimos este esquema cinemático para definir el movimiento que generaremos para las pruebas de funcionamiento, cabe recalcar que el tipo de movimiento ya lo hemos establecido anteriormente y el cual se estableció de un movimiento vertical, no se tomarán otros aspectos de funcionamiento de la suspensión como son el comportamiento en curva y otras variables que intervienen cuando el vehículo se encuentra en movimiento, si se tomarían en cuenta estas variables las condiciones de diseño del banco serían más complejas. Las principales ideas generadas consideran básicamente el empleo de un marco de soporte para todo el sistema de suspensión el cual se encontraría construido de acero como ya se ha mencionado anteriormente, así como los mecanismos de accionamiento que simulan el movimiento de amortiguación del sistema. Estos aspectos en conjunto conceptualizan la configuración general del banco en sí esta estructura de acero debe de facilitarnos un fácil acceso a todos los elementos. Pero sobre todo y es una idea que en sí influye

directamente en la construcción del mismo es que la construcción del banco debe tener elementos de fácil adquisición en el mercado local.

Para generar un prototipo debemos detallar los elementos que deberán constituir el banco de pruebas los cuales detallamos a continuación:

- **Estructura metálica.-** es la base que va servir de soporte para el alojamiento de todos los elementos, por tanto debe ser robusta amplia.
- **Sistema suspensión semi-activa.-** conjunto en el cual consta: el muelle, amortiguador variable, bases de sujeción, manzana, disco y elementos de freno, neumático y mesa de suspensión. Debe ser de un vehículo que lleve incorporado este tipo de suspensión.
- **Elementos de vibración.-** conjunto de elementos que nos permitan dar movimiento vertical al sistema de suspensión, para de esta forma obtener vibraciones.
- **Elementos de adquisición de datos.-** conjunto de elementos electrónicos que nos permitan obtener datos de las vibraciones de la suspensión y visualizarlas en una pantalla.

3.3 DISEÑO CONCEPTUAL.

Aquí se exponen algunas de las principales ideas generadas, como parte del proceso de diseño, para obtener una idea funcional del banco de pruebas, al igual que el esquema del banco para un diseño de mayor detalle. Considerando los requerimientos los cuales se han mencionado anteriormente de una forma muy esporádica pero en esta instancia las puntualizaremos ya que en base de estas debe estar el funcionamiento del banco de pruebas.

- En la parte funcional debe generar el movimiento vertical de excitación para el sistema de suspensión.
- Debe de generar oscilaciones de 0 a 25 Hz el cual es el rango que trabaja el sistema de suspensión por lo que debe de tener la capacidad de variar la velocidad de funcionamiento.
- En la parte estructural debe soportar la carga a la que se la someta sin que se tienda a pandear y a presentar fallas
- Debe de tener la capacidad de un fácil montaje y desmontaje de los elementos funcionales que se coloquen en el banco de suspensión.
- Los materiales y elementos utilizados deben de encontrarse en el mercado local para posteriores sustituciones.

Estas son una de las ideas principales en las que nos basamos para generar una propuesta de diseño, si en el camino de diseño se encontrara con alguna otra dificultad que no se estaría contemplada se deberá dar una solución práctica a la misma.

3.4 PROPUESTA DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASICA.

El principal elemento de soporte o la así también llamada estructura de acero depende como se ha mencionado anteriormente de las dimensiones de los elementos y qué cantidad de elementos conformaran el banco de pruebas. Esta estructura de acero debe de ser de construcción resistente con la capacidad de soportar los esfuerzos y cargas que se las aplique en el sistema de suspensión. En si como se ha mencionado las dimensiones del mismo depende de los elementos que se colocaran en el pero su diseño puede ser utilizado en todas las propuestas que generemos para los elementos que estarán dentro de el por lo que la estructura que hemos planteado para el banco es de un diseño simple pero eficiente en donde podemos colocar todos los elementos que consideremos necesarios para el funcionamiento del mismo.

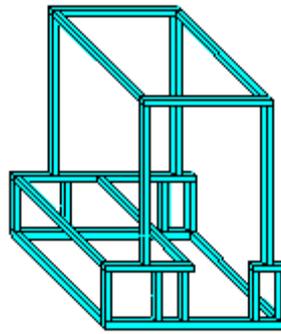


Fig. 5 Esquema estructural del banco de estudio.

Como se puede apreciar en la imagen anterior el diseño de la estructura es simple, de fácil acceso y sobre todo no es una estructura que presente dificultades de construcción en donde se podrá realizar la colocación del de los elementos del sistema de suspensión y demás elementos de accionamiento y de control independientemente cual fuere estos de una forma accesible y fácil de realizar. Luego de establecido este diseño de la estructura la cual es sumamente básica lo que necesitamos es establecer la forma en la que se realizará la sujeción de la suspensión al banco para poder ejercer el movimiento de excitación hacia el sistema, el soporte en donde se colocaría la suspensión debe de mantenerla firme y debe de permitir la colocación de las cotas angulares y distintas características de construcción del sistema de suspensión del vehículo que fue establecido y de igual manera que la estructura principal debe permitir un fácil montaje y desmontaje del sistema de suspensión. El esquema que se estableció esta adecuada a la forma de la estructura principal ya que en esta “mesa” así por llamarle es la que debe de soportar y mantenerla firme a todo el conjunto de suspensión. El tipo de soporte que se estableció es el siguiente el cual lo mostramos en un esquema:

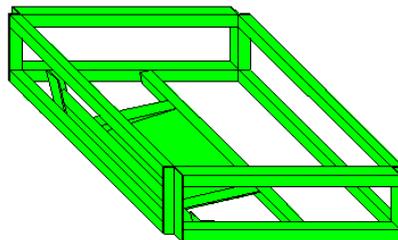


Fig. 6 Esquema de la mesa de sujeción

La mesa la cual se estableció basándose en la forma de la estructura la cual estará dentro de la torre de la estructura, esta estructura es simple y eficiente pero en esta etapa de propuesta de diseños obtuvimos un problema de diseño el cual se generó a que la mesa de sujeción no podía se fija en el marco de la estructura si no que esta debe permitirse un cierto movimiento vertical para darle una cierta carga al sistema de suspensión que estaría simulando el peso de $\frac{1}{4}$ de vehículo (400 kg aproximadamente) sobre el mismo. Por lo que se estableció es que la mesa sea móvil. En la parte interior se puede apreciar que se encuentra una placa de acero en donde se procederá a realizar perforaciones para que pueda encajar la torreta de la suspensión.

3.5 PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION DE MOVIMIENTO

Lo que se ha venido mencionando es que requerimos de un sistema que realice el movimiento para la excitación del sistema de suspensión semi-activa pero en si a que es lo que llamamos excitación del sistema es la de realizar el movimiento en forma vertical al sistema de suspensión de un vehículo cualquiera, lo que en este caso es con un amortiguador especial el cual varía sus características para dar más confort a sus ocupantes. Para realizar el movimiento el cual genere la excitación del sistema de suspensión existen varias formas de realizarlo en lo que se ha venido realizando el estudio y análisis de la misma las cuales varían desde el accionamiento de pistones tanto neumáticos como hidráulicos como también el accionamiento por medio de motores eléctricos pero antes de comenzar con este análisis hay que dividir este análisis en tres partes las cuales son:

- a) Generación del movimiento
- b) Transmisión del movimiento
- c) Mecanismo de accionamiento de la mesa de oscilaciones

Al dividir esta propuesta de diseño en tres grupos se puede realizar un estudio más detallado de las necesidades que se necesitan satisfacer para establecer el diseño final.

3.5.1 GENERACION DE MOVIMIENTO

Es este punto en donde tenemos algunas alternativas de diseño como se ha mencionado anteriormente en donde podemos utilizar algunos elementos de accionamiento de la mesa de oscilaciones la cual es la implicada directamente en la generación de las mismas, la generación de movimiento puede ir desde la utilización de elementos hidráulicos, neumáticos como la de motores eléctricos la cuales se puede conseguir una gran gama de cualquiera de estos tres elementos mencionados en el mercado local.

3.5.1.1 UTILIZACION DE UN SISTEMA HIDRAULICO

La característica de este sistema es que utiliza un fluido (aceite) a una cierta presión para generar una gran fuerza de salida aprovechando la propiedad de los fluidos que son incompresibles, las ventajas de este sistema es que se pueden generar grandes fuerzas lo que nos serviría en este caso ya que necesitamos generar fuerzas para el accionamiento del sistema de suspensión, este sistema necesita ciertos elementos para su funcionamiento los cuales son:

- a) Depósito
- b) Bomba de presión
- c) Válvulas de distribución
- d) Pistón de accionamiento hidráulico
- e) Mangueras de alimentación y retorno

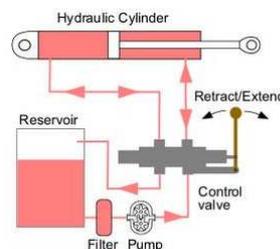


Fig. 7 Diagrama básico de un sistema hidráulico (Fuente de la imagen <http://todoproductividad.blogspot.com>)

Así como este sistema hidráulico tiene sus ventajas como se ha mencionado de generar grandes fuerzas gracias a las propiedades de fluidos en este caso aceite tiene sus desventajas que el sistema no es suficiente mente rápido para la aplicación en el banco de pruebas ya que una de las propiedades del aceite no le permite ser un sistema sumamente rápido y por otro lado está el alto costo de los elementos

3.5.1.2 UTILIZACION DE UN SISTEMA NEUMATICO

A diferencia del sistema hidráulico, un sistema neumático utiliza un tipo de gas almacenado a una alta presión para accionar un cilindro neumático el cual genera la fuerza de empuje hacia un elemento que se lo necesite instalar, el gas más utilizado para este tipo de sistema en el aire, el aire se necesita almacenar en un depósito a una alta presión, este sistema a comparación del hidráulico es un sistema de respuesta mucho más rápido un circuito básico del sistema neumático es:

- a) Filtro de aire
- b) Compresor de aire
- c) Depósito de almacenamiento
- d) Válvulas de purga y decantadores
- e) Válvulas limitadoras de presión
- f) Válvula distribuidora
- g) Cilindro neumático

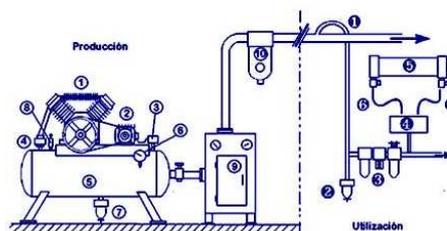


Fig. 8 Diagrama básico de un sistema neumático (Fuente de la imagen http://www.techniforum.com-imgs-neum_02-neumatik_01_gif.mht)

Este sistema neumático posee la desventaja que no puede generar grandes fuerzas y a comparación del sistema hidráulico este necesita una mayor cantidad de elementos y necesitaríamos un depósito de almacenamiento sumamente grande para poder hacer

funcionar el cilindro y así alcanzar la fuerza de accionamiento que necesitamos y por otra parte este tipo de elementos tienen un costo elevado en el mercado.

3.5.1.3 UTILIZACION DE MOTORES ELECTRICOS

La última de las opciones que poseemos para la generación de movimiento es la de colocar un motor eléctrico el cual es muy utilizado para la generación de movimiento y traslado de elementos en las máquinas los cuales accionan cierto tipo de elementos para realizar su cometido, a comparación del resto de sistemas el motor eléctrico necesita de pocos componentes para que el mismo funcione y en el mercado existe una gran gama de motores de distintas revoluciones y de distintas potencias, este tipo de elementos es de un bajo costo y para nuestra aplicación sería una buena opción ya que este es de respuesta rápida y sobre todo con cierto tipos de dispositivos se le puede controlar la velocidad del mismo.



Fig. 9 motor eléctrico (Fuente de la imagen <http://support.automation.siemens.com>)

Con el afán de buscar la combinación necesaria que cumpla con los requisitos ya establecidos anteriormente para hemos planteado estas variantes para la generación de un movimiento para el accionamiento de la mesa de oscilaciones y en los breves rasgos de cada sistema que hemos descrito tienen ciertas ventajas del uno con el otro las cuales cumplen con las necesidades que tenemos en la construcción del banco por el análisis lo describiremos en la siguiente tabla:

Mecanismo	Ventaja principal	Desventaja principal	Factibilidad del
-----------	-------------------	----------------------	------------------

			sistema
Sistema hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de grandes fuerzas por la característica del fluido (aceite) que utiliza 	<ul style="list-style-type: none"> a) Sistema de respuesta lenta b) Alto costo de los elementos c) Cantidad de elementos considerables para su funcionamiento 	No se considera factible el sistema
Sistema neumático	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de acción rápida - No se necesita un gas especial ya que puede funcionar con aire 	<ul style="list-style-type: none"> a) Es un sistema que no genera grandes fuerzas b) Alto costo de elementos c) Necesita un tanque de almacenamiento o de gran capacidad y de algunos elementos para su funcionamiento d) No se consiguen fácilmente los elementos en el mercado local 	No se considera el sistema factible para su utilización
Motores eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de acción rápida - Alta gama de motores en el mercado - Bajo costo de 	<ul style="list-style-type: none"> a) Necesita implementos de protección para evitar que se queme el motor 	El sistema es factible para la aplicación en el banco de pruebas

	adquisición - Fácil instalación y alta eficiencia de funcionamiento - Capacidad de variar la velocidad con ciertos implementos de control		
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Tabla 1 Cuadro de comparación de sistemas de generación de movimiento

Como se puede ver en la tabla anterior el sistema hidráulico y el neumático nos generan más desventajas que ventajas por sus distintas configuraciones por la que se optó por la adquisición de un motor de corriente ya que el mismo no se necesita de mayor número de implementos para su funcionamiento y es un elemento que se puede conseguir fácilmente en el mercado local por que se tiene una gran gama de distintas características en el mercado tanto relacionadas a su potencia como al número de revoluciones.

3.5.2 TRANSMISION DEL MOVIMIENTO

Ya que se ha definido el sistema de generación de movimiento que en la forma más factible se obtuvo por medio de un motor eléctrico ahora el problema que se obtiene es la transmisión del mismo se lo realizará por medio de un eje pero hay que tomar en cuenta que el motor eléctrico gira a unas ciertas revoluciones las cuales son muy elevadas por lo que en el sistema para su estudio no se requiere que sean tan altas por lo que se requeriría un sistema de desmultiplicación de revoluciones y a su vez se aprovecha el principio mecánico de aumento de par, potencia y revoluciones bajas a la salida de un sistema. Para la realización del banco debemos realizar una disminución de velocidad de la salida del motor para que se pueda apreciar como ya se lo ha mencionado y las opciones que se pueden encontrar en el mercado y las de más fácil solución son:

- Relación de engranes
- Relación de poleas

La relación de engranes se refiere a una combinación de piñones los cuales nos dan una desmultiplicación lo que en carácter mecánico sería la mejor opción ya que los engranes permiten relaciones de transmisión mucho mayores y son capaces de transmitir potencias mucho más grandes sin tener pérdidas por resbalamientos.

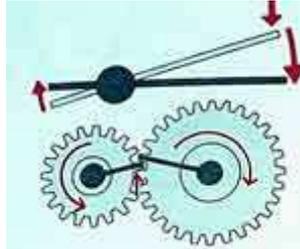


Fig. 10 desmultiplicación por medio de engranes. (Fuente de la imagen www.automecanico.com)

Este sistema funciona por medio de un efecto llamado de palanca, el cual permite que una fuerza pequeña, cuando se mueve sobre una distancia grande, levante un mayor peso, en una distancia menor a la cual se la llama relación de transmisión ya sea de fuerza, par o velocidad. En este caso introduciremos ya unos términos que hacen referencia a la transmisión de movimiento los cuales son:

Par: fuerza o esfuerzo de giro o torsión que actúa en un brazo de palanca, por lo que tenemos que el Par es:

Par = fuerza x longitud de brazo de palanca

$$Par = f \times d \quad (1)$$

Por lo que para encontrar un par de salida en un sistema de palanca que hace referencia la equivalencia de un sistema de engranes es:

$$Par \text{ de entrada} = Par \text{ de salida}$$

Por lo que se tiene:

$$f_1 \times d_1 = f_2 \times d_2 \quad (2)$$

$$f_2 = \frac{f_1 \times d_1}{d_2} \quad (3)$$

Como se ha mencionado el principio de funcionamiento de un par de engranes hace referencia a un juego de palanca el momento que estamos hablando de palancas todo lo que se gana en fuerza se produce una perdida proporcional en distancia ya que para ganar grandes fuerzas se requeriría un sistema de palancas grandes y ahora que se topa el tema de palancas este es el principal problema que tendríamos si colocáramos un sistema de palancas para aumentar la fuerza de salida del motor, por esta razón es que se toma el tema de una caja de reducción de engranajes ya que por medio de la misma obtendríamos la ganancia de espacio en el banco de pruebas ahora la ganancia de Par, fuerza y la disminución de velocidad dependería directamente de los diámetros de los engranajes o del número de dientes de cada uno de los mismos y aquí es en donde introducimos otro término el cual es:

Relación de transmisión: la relación de transmisión se define como el número de vueltas que da el engranaje conductor con respecto a una revolución del engranaje del conducido, para la relación de transmisión se puede hacer también con una relación de diámetros por lo que tenemos:

$$\text{relacion de transmisión} = \frac{(\text{diámetro/dientes}) \text{ conducido}}{(\text{diámetro/dientes}) \text{ conductor}} \quad (4)$$

Por medio del juego de posiciones de los engranajes se puede aumentar par, fuerza y reducción de velocidad de salida como se ha mencionado anteriormente o el caso contrario el de aumentar las revoluciones disminuir el par y la fuerza dependiendo el caso en el cual se utilice.



Fig. 11 Caja de reducción por medio de piñones. (Fuente de la imagen

<http://www.sew-eurodrive.com>)

En la imagen anterior podemos apreciar en corte un sistema de reducción por medio de piñones como se ha mencionado este sistema puede transferir mayores torques de salida, este sistema puede ahorrarnos espacio ya que el tamaño de la misma varía según la desmultiplicación que tenga la misma. Por otro lado la relación por medio de poleas nos permite la transmisión de pares de torsión y de potencia a distancias grandes y más que todo la forma de transmisión es por medio de fricción por lo que no necesita lubricantes y lo realiza de manera silenciosa, con estas ventajas que se posee y su costo mucho menor a comparación de la de engranesen donde se tendría que colocar aceite en la caja de reducción, pero como se mencionó anteriormente también se la puede realizar por medio de un sistema de poleas, las cuales varían de distintas formas según el tipo de banda que se utilice ya sean estas planas, en V y de sincronización las cuales las más comunes y de fácil adquisición en el mercado local es la banda en forma de V por lo que se eligió esta opción. Para esta opción también se utiliza el concepto de la relación de transmisión con la simple diferencia que las poleas no son como piñones sino la relación de estas depende directamente del diámetro de las poleas que se utilizarían.

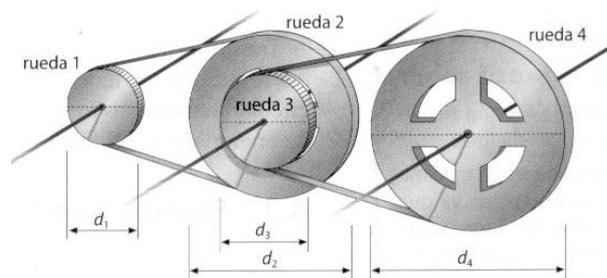


Fig. 12 Juego de poleas. (Fuente de la imagen <http://roble.pntic.mec.es>)

En la imagen anterior podemos ver una combinación de poleas la cual por medio de los principios que se anotaron anteriormente podemos tener una reducción de velocidad en el sistema, pero tendríamos un aumento en el par de salida. Al momento de colocar un sistema de poleas se tiene que colocar un sistema de bandas, las más comunes que se encuentran en el mercado son la tipo V, las bandas en V tienen el siguiente problema que

“pueden tener problemas si la banda opera con velocidad mayor a 5000 ft/min y mucho menor que 1000 ft/min”¹

Lo que se menciona es que la velocidad periférica de las poleas debe de mantenerse dentro de estos parámetros, por lo que la relación de poleas que se las realice se tendrá que tomar en cuenta que la velocidad angular no sea menor a 1000 ft/min. En el mercado se encuentra un sin número de diámetros de poleas con las que se puede escoger la que más sea factible tomando en cuenta lo enunciado anteriormente por lo que se procede a realizar el cálculo de la relación e poleas que se colocarán en el banco de suspensión. Para este sistema se puede utilizar la combinación de varios pares de poleas con el único defecto que es el espacio el que se necesita es mayor y el número de ejes para realizar la relación. El sistema el que se determine que sea factible para colocar en el banco sea este una relación por medio de engranajes o por medio de un sistema de poleas para transmitir el movimiento hacia la mesa de oscilaciones se necesitara de ejes independientemente cual fuere el sistema, el número de los mismos depende del sistema de se coloque. El análisis que se realizó de los sistemas para la transmisión del movimiento nos ha generado tres posibilidades para ser utilizado en el banco de pruebas los cuales realizaremos una tabla con los modelos tentativos con sus ventajas y factibilidades para la colocación en el banco de pruebas en donde podamos determinar cuál es el sistema más factible para su construcción.

Mecanismo	Ventaja principal	Desventaja principal	Factibilidad del sistema
Sistema por medio de palancas	Aumento de fuerzas	Necesita grandes sistemas de palancas para aumentar fuerzas Vigas robustas para soportar la carga que se ejercerá sobre las mismas (peso)	No es factible por el espacio que se necesitaría para colocar un sistema de palancas

¹ Texto tomado Norton, Diseño de Maquinas de Pg. 1080

<p>Sistema por medio de engranajes</p>	<p>Aumento de fuerza de accionamiento por medio de relaciones de engranajes (diámetros/número de dientes)</p> <p>Menor espacio para colocar la relación de engranes</p> <p>Menor pérdida de fuerza y torsión por resbalamiento</p> <p>Una relación de desmultiplicación alta ganamos más fuerza y torque con disminución de velocidad de salida</p>	<p>Costo de adquisición del juego de engranajes con la relación deseada para el sistema</p> <p>Utilización de un lubricante para eliminar fuerzas de fricción y desgaste en los dientes (superficie de contacto)</p> <p>Peso de los componentes</p>	<p>El sistema es factible</p>
<p>Sistema por medio de poleas</p>	<p>Aumento de fuerza de accionamiento por medio de relaciones de poleas (diámetros)</p> <p>Colocación de varios juegos de poleas para aumentar la desmultiplicación</p> <p>Una relación de desmultiplicación alta ganamos más fuerza y torque con disminución de velocidad de salida</p>	<p>Tiene un cierto porcentaje de pérdida por resbalamiento (contacto por medio de fricción banda/polea)</p> <p>A una relación mayor poleas sumamente grandes o un mayor número de elementos (poleas, ejes, chumaceras, etc.)</p> <p>Si aumenta el número de elementos se necesita espacio para</p>	<p>El sistema si es factible</p>

	Tienen un costo bajo y existe una gran gama de diámetros de poleas y bandas	colocar los mismos. pueden tener problemas si la banda opera con velocidad mayor a 5000 ft/min y mucho menor que 1000 ft/min (velocidad periférica)	
--	-----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabla 2 Comparación de sistemas de transmisión de movimiento

Los sistemas propuestos tenemos la factibilidad tentativa de utilizar dos de ellos los cuales son la de un sistema por medio de engranajes y otro por medio de un sistema de poleas, para poder elegir el sistema más factible para poder colocar en el banco hacemos referencia a una anotación anterior que realizamos en el momento que se estableció el modo de realizar la generación de movimiento es que se pretende utilizar un motor eléctrico y con la finalidad de generar distintas etapas de funcionamiento (velocidad en el motor eléctrico) si disminuimos la velocidad del motor al momento de su funcionamiento y esta se encuentra por debajo de 1000 ft/min que es igual a 5.078 m/s podemos tener problemas en el funcionamiento por lo que la mejor opción es la del juego de engranajes con lo que se puede colocar una caja de reducción la caja de reducción es un sistema de desmultiplicación por medio de un juego de engranajes las cuales se pueden adquirir en el mercado local.

3.5.3 MECANISMO DE ACCIONAMIENTO DE LA MESA DE OSCILACIONES

La mesa de oscilaciones hace referencia en donde se generará el movimiento de oscilación, esta mesa se encontrará accionada por medio de un sistema que genere el movimiento vertical que se ha mencionado anteriormente, como ya se han ido definiendo en cierta la forma en la que se accionará a la mesa falta establecer la forma de la misma, por lo que partimos de las necesidades que tenemos que cubrir.

En primera instancia partimos desde el sistema de suspensión ya que esta se encontrará colocada sobre la base de la mesa, como se definió en instancias anteriores tomaremos en cuenta el $\frac{1}{4}$ del vehículo asumimos que se encuentra también localizado en el sistema el neumático por lo que la base en donde se encontrará será una plataforma, con esto hemos satisfecho la primera necesidad que partimos desde el elemento base que es el sistema de suspensión, por otro lado necesitamos el elemento que genere el movimiento ya que como se ha definido anteriormente el traslado del movimiento hacia este elemento es por medio de un eje por lo que necesitamos un elemento que se adapte a la forma del mismo. Los elementos de accionamiento pueden ser por medio del accionamiento de una leva o por medio de una rueda excéntrica.

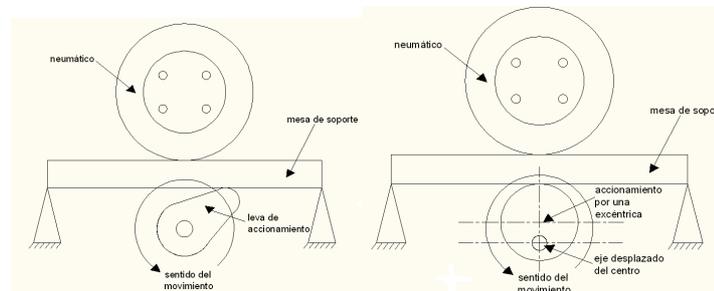


Fig. 13 mecanismos de accionamiento de la mesa de oscilaciones.

En la figura podemos apreciar las dos formas en las que se puede realizar el accionamiento de la mesa para generar el movimiento vertical del sistema, por medio de un accionamiento de una leva tenemos que tomar en cuenta el trayecto que sigue la misma con lo que tendremos que tomar en cuenta ya que el movimiento que necesitamos obtener es un movimiento homogéneo. Para realizar el estudio del movimiento tomaremos la forma de una leva común para poder encontrar las restricciones que presentan este mecanismo por la forma de construcción de la misma.

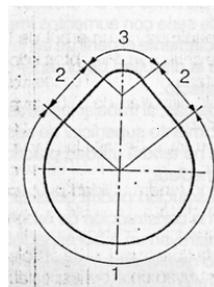


Fig. 14 figura de una leva de accionamiento (Fuente de la imagen <http://roble.pntic.mec.es>)

En la imagen podemos apreciar la forma de una leva y vemos que presentan unas partes planas en las secciones denominadas con el número 2 por lo que tenemos el primer inconveniente por lo que el movimiento no será homogéneo y la cresta de alzada que está denominada con el número 3 tendríamos en el movimiento una alzada excesivamente brusca con lo que se sigue variando el movimiento homogéneo que esperamos obtener y si seguimos el movimiento nuevamente tenemos una zona plana con lo que movimiento varía de una alzada brusca a una caída excesivamente rápida para luego ingresar a una zona ya más homogénea en su funcionamiento designada con 1.

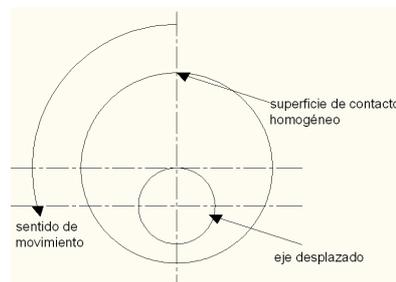


Fig. 15 figura de una rueda excéntrica

Como se puede apreciar en el esquema el momento que tenemos una rueda excéntrica para realizar el movimiento vertical como en el caso anterior este no tiene zonas planas en donde pueda variar el movimiento homogéneo que necesitamos obtener para que el sistema pueda funcionar de una forma suave y no brusca pudiendo generar golpes en el sistema por lo que generaría vibraciones y cabalgamiento en el banco (estructura). Luego de realizar este breve análisis podemos apreciar que la excéntrica es la solución más relevante que podemos anotar en este sistema.

3.6 GENERACION DE UN DISEÑO PRELIMINAR.

Para realizar un diseño preliminar se ha partido realizando el análisis de distintos elementos los cuales se los puede encontrar en el mercado local, lo que se hace referencia a la estructura como es la utilización de acero estructural de la serie A36 pero en fin el diseño final debe de tener las características iniciales que se establecieron, para partir con un diseño preliminar debemos partir caracterizando los implementos del sistema que conforman el sistema de suspensión como se ha mencionado en capítulos anteriores se estableció la utilización del sistema de

suspensión de una Nissan Pathfinder R50, este tipo de suspensión tiene la característica de variar la capacidad de amortiguación a dos posiciones



Fig. 16 imágenes del muelle y del amortiguador de la Nissan Pathfinder R50.

En la imagen anterior se puede apreciar el muelle y el amortiguador de la Nissan Pathfinder R50 la cual utilizaremos para el funcionamiento del banco de pruebas de esta suspensión que se estableció que la misma es considerada como una suspensión semi-activa por la capacidad que posee la misma en variar sus características el momento que el vehículo se encuentre en movimiento.



Fig. 17 imágenes de la manzana y elementos del sistema de freno.

Para el funcionamiento del banco de pruebas se decidió que para las pruebas se colocará los elementos que componen un sistema de suspensión para poder asemejar los valores obtenidos a la realidad ya que es un poco complejo la de simular las condiciones de irregularidades del camino en un banco de pruebas, por lo que aquí se nos presenta la primera desventaja de funcionamiento. También se colocará una rueda (neumático) con su rin (aro) para que los resultados puedan ser más reales. El aro que utilizaremos es un R14, originalmente el sistema de suspensión del vehículo que tomamos como referencia vienen equipados con aros R16, se colocó un aro mucho más pequeño para que se pueda apreciar mucho mejor la forma de funcionamiento del sistema de suspensión ya que este aro al ser más grande tapa el

campo de visión de la forma de trabajo del sistema de suspensión, el neumático que utilizaremos es la Continental Sport Contact 185/60 R14 82 H.



Fig. 18 Neumático

En la imagen anterior tenemos el neumático y el aro que utilizaremos en el banco de pruebas, el valor de la carga máxima ya se calculó en el capítulo anterior y es de 476,64 kg lo cual está dentro del peso que se tomó para realizar los cálculos que era de 400 kg, cabe recalcar que este análisis ya se lo realizó en el capítulo anterior pero cabe recalcarlo, por otra parte se realizó la toma de pesos de cada uno de los elementos los cuales se lo realizó de igual manera en el capítulo anterior el cual el valor total es de 490,5 N. El objetivo de realizar esta caracterización de cada uno de los elementos es con el fin de determinar el peso total que gravitará sobre la mesa de oscilación con el fin de determinar las dimensiones de cada uno de los elementos que se colocará en el banco de suspensión. Como se estableció que la carga que gravitará sobre la suspensión (masa suspendida) es de 400 kg. Para el diseño de la mesa de sujeción del sistema de suspensión debemos establecer las cotas de la suspensión las cuales las obtuvimos del manual de taller de la Nissan Pathfinder R50 las cuales son las siguientes:

Alineación de dirección y ruedas	
Estado del vehículo	
Sin carga	
	
Convergencia, delantera	0° 6' +/- 2' (°)
Convergencia, delantera	2,7 +/- 1 (mm)
Camber, delantero	0° 30' +/- 30' (°)
Caster, delantero	2° 39' +/- 30' (°)
Inclinación eje de giro, delantero	12° 26' +/- 30' (°)
Convergencia, trasera	0° 10' +/- 7' (°)
Camber, trasero	0° 30' +/- 30' (°)

Fig. 19 Datos de los ángulos del sistema de dirección (Datos tomados del manual de taller de la Nissan Pathfinder R50 obtenidos de www.manualesdemecanica.com)

Los datos obtenidos como son los ángulos del sistema de dirección nos dan algunas pautas para la construcción de la mesa de sujeción en especial utilizamos el ángulo de salida que en este caso hace referencia al ángulo de inclinación del eje de giro el cual es aproximadamente $12,5^\circ$ e incluso se puede obtener las componentes de carga las cuales determinaríamos cual es la carga que se aplicará en la mesa de oscilación la cual es la siguiente:

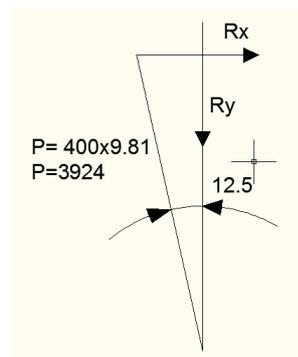


Fig. 20 Componentes x, y en base al ángulo de salida del muelle-amortiguador

Para calcular la componente R_y que es la que necesitamos aplicamos la siguiente fórmula:

$$\cos 12,5^\circ = \frac{R_y}{3924}$$

$$R_y = \cos 12,5^\circ * 3924$$

$$R_y = 3830,98N$$

Esta carga es la que se gravitará sobre la mesa de oscilación y si también a esta componente la sumamos la fuerza que ejerce el peso de la masa no suspendida que es de 490.5 N tenemos una componente final de:

$$R_{y_{final}} = R_y + P_{\text{masa no suspendida}}$$

$$R_{y_{final}} = 3830,98 + 490,50$$

$$R_{y_{final}} = 4321,48N$$

Esta carga es la que en teoría debe de gravitar sobre la mesa de oscilaciones. En base a estos datos partimos con el dimensionado del banco de suspensión, por lo que los elementos que se les coloque deben de resistir a las cargas que se colocarán sobre el banco de pruebas. Como se mencionó anteriormente se predeterminó una estructura

básica para la colocación de los elementos los cuales si variaremos dependiendo de cuáles son los más factibles.

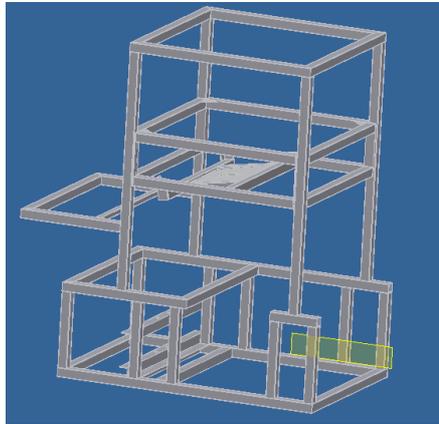


Fig. 21 Imagen de la estructura básica del banco de pruebas.

En la imagen anterior podemos apreciar la forma básica de la estructura del banco de pruebas, como se puede apreciar la forma es bastante básica cabe recalcar la redundancia, las ventajas que encontramos al establecer una forma básica de estructura es que a partir de esta estructura se las puede hacer muchas mejoras tanto en su forma constructiva como el de implementar nuevos sistemas de control para distintas aplicaciones. En la imagen también podemos apreciar la mesa de sujeción que se colocó para sostener el sistema de suspensión.

3.7 SELECCIÓN DE IMPLEMENTOS A COLOCARSE EN EL BANCO DE PRUEBAS PARA SU FUNCIONAMIENTO.

Como ya se tienen los datos que necesitamos para el dimensionado de los implementos comenzamos desde el mecanismo que generará el movimiento como se estableció anteriormente, establecimos tres tipos de sistemas los cuales fueron la implementación de sistemas tanto hidráulicos como neumáticos y la de colocación de un motor eléctrico para que realice el trabajo de dar movimiento al sistema de vibración, se analizó estos implementos y como se anotó, la colocación de un motor eléctrico es la mejor opción para el sistema ya que como se analizó este posee varias ventajas a comparación de los sistemas que se establecieron las más importantes la podemos anotar a continuación:

- No genera ruido al momento de su funcionamiento.
- No necesita mantenimiento (libre de mantenimiento) para su funcionamiento.
- La eficiencia de funcionamiento es muy buena.
- Existe una gran gama de selección en el mercado.
- Tiene la capacidad de variar la velocidad por medio de un sistema de control.
- Tiene menor tamaño, por ende peso muy bajo.
- Fácil de instalar y realización de acople hacia una máquina.

Estas son algunas de las cualidades que posee la utilización de un motor eléctrico para su funcionamiento. En el mercado se puede encontrar una gran gama de motores eléctricos los cuales se los puede establecer de dos tipos si así se puede establecer como son los motores de corriente continua, los motores de corriente alterna y los universales, los universales pueden funcionar tanto con corriente alterna como con corriente continua. Para el caso de la construcción del banco de pruebas utilizaremos un motor de corriente alterna ya que esta se encuentra comúnmente en una conexión eléctrica, y se utilizará un motor de corriente trifásica ya que se necesita controlar la velocidad de rotación y la mejor forma que se la pueda realizar es por medio de un variador de frecuencia.

Los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y la acopla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. Los controladores de frecuencia variable son dispositivos complejos y hasta hacepoco eran costosos. Sin embargo, trabajan con motores estándar lo cual permitensu fácil adición a unidades motrices existentes. Los sistemas de variación de velocidad alteran la velocidad del motor cambiando elvoltage y la frecuencia de la electricidad suministrada al motor en base a losrequerimientos del sistema. Esto se logra convirtiendo corriente alterna en continua,y luego de múltiples mecanismos de cambio, invirtiendo la corriente continua acorriente alterna sintética con voltage y frecuencia controlada. Si este proceso esrealizado en forma apropiada, la velocidad del motor puede ser controlada en unrango amplio (desde cero RPM hasta el doble de la velocidad nominal) con lascaracterísticas de torque apropiadas para la aplicación.



Fig. 22 Imagen de una serie de variadores Sinematic G110 de la SIEMENS (Fuente de la imagen <http://support.automation.siemens.com>)

En la imagen anterior podemos ver un variador de frecuencia de la SIEMENS, este tipo de variador de velocidad presenta muchas ventajas funcionales y la principal es la de controlar la velocidad de giro del motor de corriente alterna, las características principales del variador de frecuencia son:

- Fácil instalación y puesta en servicio
- No posee elementos móviles ni de contacto
- Posee sistemas de protección por sobretensión
- Construcción robusta
- Posee puertos de control para colocar pulsantes, potenciómetros para su funcionamiento
- Proporciona arranques suaves y sin saltos.

Estas son algunas de las funciones que se puede realizar con el variador de frecuencia.

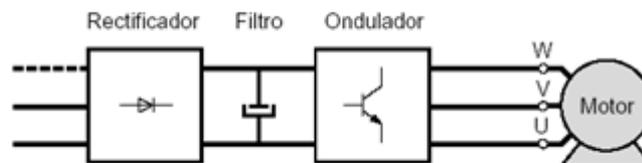


Fig. 23 Esquema del principio de funcionamiento de un variador de frecuencia (Fuente de la imagen <http://support.automation.siemens.com>)

Una de las características es que al variador de velocidad se le puede conectar dos líneas alternas de voltaje equivalente a 120 v, al tener tan solo dos líneas de entrada como puede funcionar el motor trifásico, pues el variador tiene la capacidad de generar de salida un sistema trifásico para el funcionamiento del motor trifásico. Ya que se piensa utilizar un motor eléctrico, por ende es factible que se adquiera un variador de velocidad para la utilización en el banco de pruebas ya que se puede variar la velocidad por medio de este.

Ya se ha definido la forma que generaremos el movimiento el cual será por la acción de un motor trifásico con la utilización de un variador de velocidad, ahora partimos desde el hecho que necesitamos reducir el número de revoluciones de salida del motor es verdad que utilizaremos un variador de frecuencia para controlar las revoluciones pero aun así son demasiadas revoluciones de salida, los motores trifásicos existen una gran gama de ellos y de sus velocidades de salida, se ha investigado y la velocidad de salida de un motor la más baja es de 1200 rpm por lo que son revoluciones excesivamente altas por lo que necesitamos un sistema de reducción



Fig. 24 Motor de corriente alterna (trifásico) marca SIEMENS (Fuente de la imagen <http://support.automation.siemens.com>)

En la imagen anterior un motor SIEMENS, si se colocara un sistema de reducción podemos reducir el número de revoluciones de salida y podemos tener una ventaja sumamente importante que podemos aumentar el torque de salida y por ende podemos reducir la potencia del motor eléctrico, los sistemas de reducción que podemos utilizar como se ha mencionado son por medio de poleas o la utilización de una caja de reducción por medio de piñones, la primera opción económicamente es la más ya que se puede conseguir en el mercado una gran gama de diámetros de poleas, hemos tomado una configuración de dos juegos de poleas ya que podemos reducir

aún más las revoluciones de salida y aumentamos aún más el torque de salida, ya que colocaremos un sistema de reducción escogeremos un motor eléctrico al azar el cual colocaremos en el banco de suspensión, colocaremos un motor SIEMENS de 2 Hp de 1700 rpm los datos son los siguientes:

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia HP	Potencia KW	F.S.	In 220V A	In 440V A	Eficiencia η %	Factor de potencia Cos ϕ	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m ²	Peso kg
25000001108	1LA7 070-4Y60	71M	0,4	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
25000001109	1LA7 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
25000001110	1LA7 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6
25000001111	1LA7 073-4YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
25000001113	1LA7 080-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1
25000001114	1LA7 081-4YA60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1675	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
25000001115	1LA7 083-4YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	72	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0018	9,3
25000001117	1LA7 090-4YA60	90SL	2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
25000001118	1LA7 094-4YA60	90SL	2,4	1,79	1,05	7,40	3,70	77	0,86	1690	10,12	2	4,5	0,0035	14,9
25000001119	1LA7 096-4YA60	90SL	3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
25000001120	1LA7 111-4YA60	112M	4	2,98	1,15	13,00	6,50	76,3	0,79	1750	16,28	2,2	5,6	0,0048	27,1
25000001121	1LA7 112-4YA60	112M	5	3,73	1,15	15,80	7,90	80,5	0,78	1740	20,47	2,3	6,5	0,0058	28,7
25000001122	1LA7 113-4YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,50	9,80	78	0,83	1740	27,02	2	6	0,011	31
25000001123	1LA7 114-4YA60	112M	7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	5,6	0,011	32,7
25000001124	1LA7 131-4YA70	132SM	10	7,46	1,15	28,80	14,40	81	0,84	1750	40,71	2,3	6	0,018	46,5
25000001125	1LA7 133-4YA70	132SM	12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	6,6	0,024	49
25000001126	1LA7 134-4YA70	132SM	15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1750	61,06	1,8	5	0,024	62
25000001127	1LA7 164-4YA70	160 ML	20	14,92	1,15	56,8	28,40	85	0,85	1760	80,95	1,8	6,3	0,04	77,5
25000001128	1LA7 167-4YA70	160 ML	25	18,65	1,15	66	33,00	89	0,87	1755	101,48	1,8	5,4	0,052	95,5
25000001129	1LA5 183-4YA80	180M	30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,83	1755	121,77	2	4,9	0,13	170
25000001130	1LA5 186-4YA80	180L	36	26,66	1,05	93	46,50	91,3	0,83	1760	145,71	2,8	6,8	0,15	190
25000001131	1LA5 187-4YA80	180L	40	29,84	1,05	104	52,00	91,3	0,83	1750	162,83	2	5,6	0,15	190
25000001132	1LA5 207-4YA80	200L	50	37,30	1,15	125	63,00	92,4	0,84	1770	202,00	2,7	6,6	0,24	250
25000001133	1LA5 220-4YA80	225S	60	44,76	1,15	146	73,00	95,0	0,84	1776	241,00	2,7	6,6	0,44	314
25000001134	1LA5 223-4YA80	225M	75	55,95	1,15	200	100,00	91,7	0,80	1770	301,00	2	5,1	0,52	321
26697 ¹⁾	1LG4 253-4AA60	250M	100	75,00	1,00		120,00	93,3	0,85	1780	355	2,5	6,3	0,69	390
26698 ¹⁾	1LG4 280-4AA60	280S	125	93,00	1,00		145,00	94,2	0,85	1785	482	2,5	7,4	1,29	520
26699 ¹⁾	1LG4 283-4AA60	280M	150	111,90	1,00		177,50	94,6	0,86	1785	579	2,5	7,4	1,47	565
26700 ¹⁾	1LG4 310-4AA60	315S	200	150	1,00		240,00	94,5	0,84	1783	707	2,6	6,5	2	700
26701 ¹⁾	1LG4 313-4AA60	315M	225	168	1,00		265,20	94,8	0,85	1783	848	2,8	6,9	2,46	775
26702 ¹⁾	1LG4 316-4AA90-2	315L	275	205	1,10		323,10	95,4	0,86	1783	1,028	2,8	6,9	3,01	955
26703 ¹⁾	1LG4 317-4AA90-2	315L	350	261	1,10		409,50	95,7	0,88	1785	1,285	2,8	7	3,91	1050

1) Para tensión de servicio a 220V, favor consultar.
3) Consultar tiempo de entrega.

Fig. 25 Tabla de valores para motores de hasta 1800 rpm (Datos e imagen obtenidos de www.siemens.com)

En la tabla anterior podemos obtener los datos que necesitamos los cuales son:

Tipo de motor: 1LA7 090-4YA60

Potencia: 2Hp (1,49 Kw)

Factor de seguridad: 1,15

Consumo de corriente: 7 A (220v)

Eficiencia: 77 %

Factor de potencia: Cos ϕ 0.80

Velocidad nominal: 1700 rpm

Torque nominal: 8,38 N/m

Torque de arranque: 2,2 Tn

Estos son los valores más importantes del motor que necesitamos para realizar la selección del resto de elementos que se colocarán en el banco de suspensión, ya que elegimos este elemento al azar para el sistema de reducción aunque ya se descartó el sistema de poleas por así decirlo propondremos un sistema de dos juegos de poleas para ver si podemos optar por uno de estos sistemas ya que el costo de los elementos

es mucho menor que el de una caja de reducción los juegos de poleas son los siguientes:

	Polea 1 (diámetro en pul)	Polea 2 (diámetro en pul)	Polea 3 (diámetro en pul)	Polea 4 (diámetro en pul)
Combinación 1	4	10	6	12
Combinación 2	3	8	6	12
Combinación 3	3	12	4	12
Combinación 4	4	6	3	12

Tabla 4 Relaciones de poleas propuestas como sistema de reducción.

En la tabla anterior podemos apreciar una serie de combinaciones de poleas que se podrían utilizar como un sistema de reducción, cabe recalcar que se anotó que la velocidad periférica es muy importante en el sistema de poleas ya que se puede tener inconvenientes cuando la misma es inferior a 1000 ft/min o superior a los 5000 ft/min por lo tanto es importante establecer la velocidad periférica en cada una de las poleas por lo que aplicamos la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi * d * n}{12}$$

d = diametro 2

n = número de revoluciones

También debemos aplicar el cálculo de la relación de transmisión para obtener el número de revoluciones como el torque de salida por lo que utilizaremos la siguiente fórmula:

Para el cálculo de revoluciones de salida

$$n1 * d1 = n2 * d2$$

$$n2 = \frac{n1 * d1}{d2}$$

Para el cálculo de torque:

²Fórmula tomada de NORTON, ROBERT "Diseño de Máquinas" Pg. 1065

$$T2 = T1 * i$$

$i = \text{relación de transmisión}$

$$i = \frac{d2}{d1}$$

Estas fórmulas aplicaremos en cada uno de los casos de juegos de poleas que tenemos como las más factibles para colocarlas en el banco de suspensión:

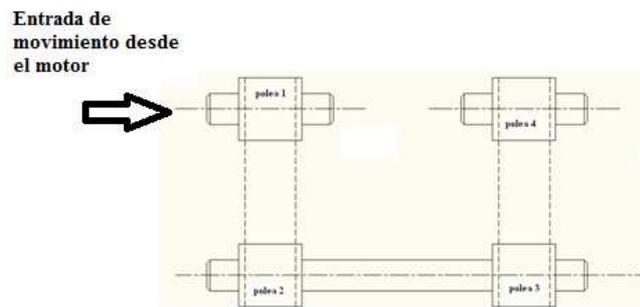


Fig. 26 Combinación del sistema de poleas propuesto.

En la figura anterior podemos apreciar las disposiciones de las poleas que pueden ocupar en el banco la disposición de la cuarta polea puede cambiar según la disposición del resto de elementos. Con este tipo de configuración podemos aumentar el par de torsión y disminuir las revoluciones por lo que es una opción viable para colocarla en el banco para accionar el sistema de suspensión. Los datos obtenidos para establecer si el sistema es viable, tomando en cuenta que por la polea 1 ingresa las revoluciones del motor eléctrico y el torque del mismo los datos son los siguientes:

Juego de poleas 1(d)	V periférica (ft/min)	Torque (N/m)	Número de revoluciones (rpm)	Juego de poleas 2(d)	V periférica(ft/min)	Torque (N/m)	Número de revoluciones (rpm)
4	1780,23	8,38	1700	3	1335,17	8,38	1700
10	1780,23	20,95	680	8	1335,17	22,29	639,09
6	1068,14	20,95	680	6	1003,88	22,29	639,09
12	1068,14	41,90	340	12	1003,88	44,58	319,54

Tabla 5 Datos obtenidos en un primer grupo de juego de poleas.

En la primera tabla se realizó el cálculo de dos juegos de poleas y como se puede apreciar que la velocidad periférica en las poleas se mantiene por encima del valor mínimo que se ha planteado, la siguiente tabla presenta los valores obtenidos por los dos juegos restantes:

Juego de poleas 3(d)	V periférica (ft/min)	Torque (N/m)	Número de revoluciones (rpm)	Juego de poleas 4(d)	V periférica(ft/min)	Torque (N/m)	Número de revoluciones (rpm)
3	1335,17	8,38	1700	4	1780,23	8,38	1700
12	1335,17	33,52	425	6	1780,23	12,57	1133,33
4	445,05	33,52	425	3	890,11	12,57	1133,33
12	445,05	100,56	141,66	12	890,11	50,28	283

Tabla 6 Datos obtenidos en un segundo grupo de juego de poleas.

En la última tabla que establecemos, la velocidad periférica en la segunda combinación de poleas los valores bajan del valor mínimo por lo que no se recomienda colocar este juego de poleas, es verdad que la disminución de la velocidad de salida es mucho menor y el torque aumentó notablemente pero no es un sistema que sea confiable para su utilización, el primer grupo de poleas que se colocó vemos que los valores se mantienen por encima del valor mínimo y las revoluciones han disminuido notablemente y el aumento de par o torque de igual manera, la dificultad que nos presenta ahora es que al tener un variador de velocidad, la velocidad del sistema se mantendrán variando y no se mantendrán todo un siempre en la velocidad nominal y el torque nominal que utilizamos para el cálculo por lo que no es factible utilizar este sistema por esta razón y otra por que esta combinación de poleas ocuparía demasiado espacio por el diámetro de las poleas son sumamente grandes.

Con este breve análisis establecemos que no es factible la utilización de este sistema por lo que optaremos por la utilización de una caja de reducción. La utilización de esta caja de reducción se hizo la opción más factible por lo que se consiguió en el mercado local una caja de reducción de procedencia americana con una reducción de

7,5: 1 por lo que los valores obtenidos tanto de torque como de número de revoluciones de salida son las siguientes:

$$T2 = T1 * i$$

$$T1 = 8,38 \frac{N}{m}$$

$$T2 = 8,38 * 7,5$$

$$T2 = 62,85 Nm$$

$$n2 = \frac{n1}{i}$$

$$n1 = 1700 rpm$$

$$n2 = \frac{1700}{7,5}$$

$$n2 = 226,66 rpm$$



Fig. 27 Imagen de la caja de reducción

En la imagen anterior podemos ver de perfil la caja de reducción que se adquirió para la colocación en el banco de pruebas, las características de la caja de reducción son las siguientes:

Marca: WINSMITH

Modelo: 924MDV

Serial: 924MDVS 2300 GBT A

Reducción: 7,5: 1

Factor de servicio: 1

Los valores obtenidos son muy buenos ya que disminuimos las revoluciones considerablemente a 226 rpm lo cual es un valor bastante bueno y se obtuvo un valor

de torque sumamente alto pero este cálculo se lo realizó con los valores nominales del motor, se es necesaria la utilización de un eje para transmitir las revoluciones hacia la mesa de oscilaciones para generar las mismas, por lo que se es necesario realizar un acople hacia el eje desde la salida de la caja de reducción, se ha investigado para la utilización de un sistema que sea sumamente fácil de realizar el montaje y el desmontaje del eje que se colocará, con lo que se nos recomendó la utilización de un acople de tipo araña o más comúnmente conocido como matrimonio.



Fig. 28 Imagen de los acoples tipo araña o matrimonios (Fuente de la imagen <http://www.houstonbearing.com/pdf/LOVEJOY-JAW.PDF>)

En la imagen anterior podemos apreciar la forma de los acoples tipo araña o matrimonios, este tipo de acople se los usa para realizar acoples desde un motor o una caja de reducción el cual es nuestro caso hacia los ejes, antes de partir hacia ese punto debemos determinar el diámetro del eje para poder determinar el tipo de acople que adquiriremos para su colocación, como se mencionó anterior mente el cálculo se lo realizó con un torque nominal pero tenemos otro dato del motor el cual es el torque de arranque cuyo valor es de 2,2 veces el torque nominal, como podemos ver este torque es mayor por lo que tenemos un torque de salida aun mayor el cual es:

$$T_{\text{arranque}} = 2,2 * T_n$$

$$T_n = 8,38 \frac{N}{m}$$

$$T_{\text{arranque}} = 2,2 * 8,38$$

$$T_{\text{arranque}} = 18,43 Nm$$

Vemos que el valor es un poco más que el valor nominal y por medio de la reducción que tenemos por la caja el valor del torque de arranque que es:

$$Tf_{arranque} = 18,43 * 7,5$$

$$Tf_{arranque} = 138,22 Nm$$

Como podemos ver el torque de arranque con la utilización de la caja de reducción es bastante alto, se realizó la acotación de este valor para la utilización del cálculo del eje que se utilizará. El eje soportará el peso del conjunto de la suspensión y una masa excéntrica, la cual va fijada en el centro y sirve para levantar la plancha que hace de superficie al neumático, con el propósito de dar movimiento vertical a la suspensión. Tiene dos chumaceras como puntos de apoyos con rodamientos de bolas.

Puesto que el eje va a soportar cargas producidas por el peso del conjunto de la suspensión, es recomendable como calculo previo determinar el diámetros del eje, basado en la torsión, lo que siempre se hace para el caso en que los momentos flectores actúan provocando esfuerzos de pequeña magnitud. En este punto del diseño solo se conoce el momento torsor transmitido por el árbol, los momentos de flexión se podrán determinar apenas se tenga una configuración aproximada del árbol.

Para un eje circular de sección constante el momento torsor está dado por:

$$M\tau = \frac{\tau_{adm} \times J}{c}$$

Dónde: τ_{adm} = esfuerzo admisible en el eje, c = radio del eje, J = momento polar de inercia. Por resistencia de materiales se sabe que para los ejes sólidos

$$J = \frac{1}{2} \pi c^4$$

Reemplazando en la ecuación (20)

$$\tau_{adm} = \frac{2M\tau}{\pi c^3}$$

Como $c=d/2$ y d = diámetro, entonces

$$\tau_{adm} = \frac{16M\tau}{\pi d^3}$$

El material a utilizar en el eje será acero 1035 según recomendaciones de varios autores. Para los árboles de aceros 1035, 1040, 1045 al determinar el diámetro del extremo saliente del árbol usualmente se toma $\tau_y = \tau_{adm}$ los valores los podemos apreciar en la siguiente tabla:

Material		Resistencia de fluencia en tracción S_y (0.2%)		Esfuerzo último en tracción S_u		Elongación (en 2 in)	Dureza Brinell
SAE/AISI	Estado	ksi	MPa	ksi	MPa	%	HB
1010	Laminado en caliente	26	179	47	324	28	95
	Laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1016 **	Laminado en caliente	40	275	57	390	25	160
	Estirado en frío (calibrado)	54	370	78	540	10	200
1020 *	Laminado en caliente	30	207	55	379	25	111
	Laminado en frío	57	393	68	469	15	131
	Recocido	43	296	60	414	38	121
1030	Laminado en caliente	38	260	68	469	20	137
	Normalizado @ 1650 °F	50	345	75	517	32	149
	Laminado en frío	64	441	76	524	12	149
	Templado y revenido @ 1000 °F	75	517	97	669	28	255
	Templado y revenido @ 800 °F	84	579	106	731	23	302
	Templado y revenido @ 400 °F	94	648	123	848	17	495
1035 *	Laminado en caliente	40	276	72	496	18	143
	Laminado en frío	67	462	80	552	12	163

Fig. 29 Tabla de algunas propiedades de aceros al carbono.

Como se puede apreciar en la tabla anterior el τ_y (S_y) que hace referencia a la resistencia de fluencia en tracción es de 276 MPa, el cual es para un acero laminado en caliente este será el valor que tomaremos para realizar el cálculo del diámetro del eje. El cálculo lo realizaremos como se mencionó para el torque de arranque el cual será el máximo que tendrá el sistema, este valor es de 18,43 N/m y a la salida del reductor es de 138,22 N/m. Tomando los valores antes nombrados tenemos

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times M \tau}{\pi \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 130,22 \frac{N}{m}}{\pi * 276 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}}$$

$$d = 0,01339m$$

$$d = 13,39mm \approx 14mm$$

Como podemos ver por medio de un cálculo obtenemos que el diámetro del eje sea de 14 cm, este cálculo se lo realizó ejerciéndole solo el torque al eje pero para el caso nuestro también el eje estará sujeto a fuerzas que ejercen fuerzas de flexión al mismo, por lo que el cálculo también se lo debe de realizar con el eje sometido a flexión. Para colocar el eje es necesario de unas chumaceras de bolas como se ha mencionado anteriormente el cual depende también del diámetro del eje.



Fig. 30 Imagen de chumaceras NTN (Fuente de la imagen http://www.casapellas.com/industr/ntn_docs/CHUMACERAS.pdf)

En la imagen anterior podemos ver el tipo de chumaceras que se puede utilizar para la colocación del eje para que sirvan como soporte del mismo. Antes de realizar este cálculo debemos dimensionar el banco de pruebas en apartados anteriores dimos un dimensionado de la estructura básica, ya hemos definido los implementos que utilizaremos para generar movimiento como son el motor, la caja de reducción y el eje de transmisión que necesitamos otros datos para determinarlo.

El elemento que nos falta determinar es el generará las oscilaciones (generara movimientos verticales) como se estableció anteriormente una rueda excéntrica es la mejor solución que un sistema de leva ya que la leva por su forma constitutiva no genera un movimiento uniforme si no que presentaba zonas que el movimiento dejaba de ser homogéneo y tenía caídas repentinas. Esta es por la que se decidió utilizar una rueda excéntrica, antes de determinar las dimensiones de la rueda excéntrica establecemos la alzada que queremos que genere la rueda excéntrica, la alzada hacemos referencia la altura que queremos que la excéntrica levante el sistema de suspensión.

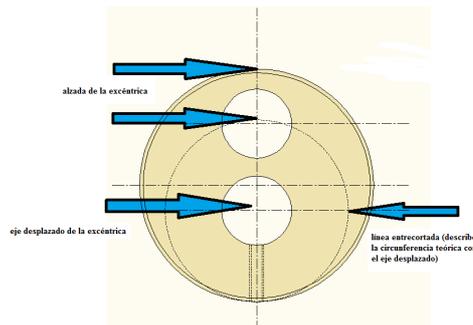


Fig. 31 Forma esquemática de una excéntrica.

En la imagen anterior podemos ver un esquema de la forma que posee una rueda excéntrica, como se anotó en la figura vemos el agujero para el eje desplazado y la parte desde la parte final de la excéntrica hasta la línea entrecortada es la alzada de la excéntrica, la línea entrecortada determina la forma teórica que tendría la rueda con ese eje desplazados. Esta altura de alzada hemos determinado que sea de 28 mm, como se puede definir en breves rasgos la forma constitutiva del banco no nos permite variar la altura que levantaría esta excéntrica por lo que esta sería fija. En la realidad, en el momento que se encuentre el vehículo circulando por las carreteras de nuestro país, las cuales son de distintos tipos que van desde calles con asfalto, con pavimento rígido, con adoquín, con lastre, etc. Se tiene distintas condiciones de funcionamiento del sistema de suspensión, por lo que dependiendo del tipo de carretera en el que se encuentre circulando el vehículo y la velocidad del mismo puede generar distintas distancias de compresión del sistema muelle-amortiguador, pero aquí no se está tomando en cuenta un efecto que tenemos que el neumático al ser un componente que posee aire o nitrógeno (actualidad) para su inflado presenta una característica particular que este también presenta características de amortiguamiento, ya que este absorbe gran parte de las irregularidades del carretero. Ya que se estableció que utilizaremos una rueda excéntrica para generar este movimiento por lo que único que nos hace falta es la superficie en donde se asentará el neumático con todo el sistema.

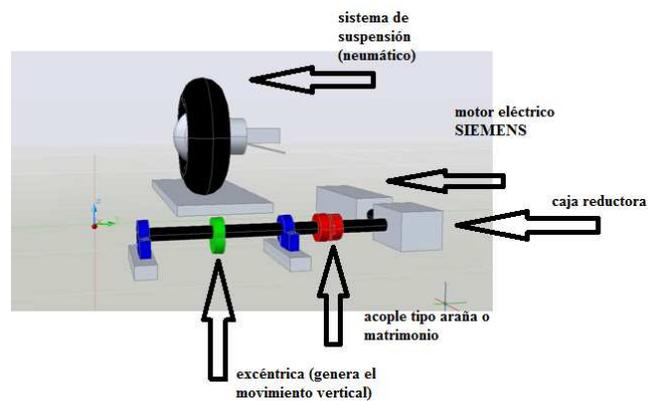


Fig. 32 Esquema de elementos para generar el movimiento de oscilación

En la imagen anterior podemos ver la forma que irán los elementos en el banco de suspensión para poder generar el movimiento, la forma de la mesa en donde se asentará el neumático es lo que nos importa ahora la forma que se seleccionó para la forma de mesa es la siguiente:

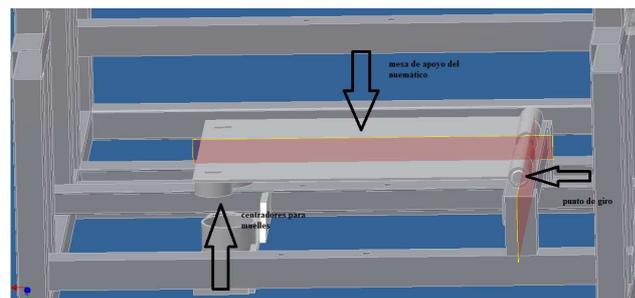


Fig. 33 Forma de la mesa de apoyo del neumático.

En la imagen podemos apreciar la forma que se escogió para la forma de la mesa de soporte en donde se asentará el sistema de suspensión en esta etapa no se dio gran importancia a la forma de la mesa de soporte ya que esta tiene el objetivo de soportar el sistema y la transmitir el movimiento vertical generado por la rueda excéntrica, se colocó a la mesa de soporte con un punto de giro para facilitar que la misión de esta se la realice la cual es la de estar en contacto con el neumático y la de tener el movimiento vertical el cual es generado por la rueda excéntrica. A partir de este establecemos las distancias para la selección del eje, la distancia del eje que establecimos es de 61 cm, cabe recalcar que el momento que establecimos la forma de la mesa de soporte nos nació la necesidad de compensar el peso o la fuerza que ejercería el sistema de suspensión y con la carga que se coloque por medio de la

acción de unos muelles los cuales le colocaremos en la parte frontal de la mesa de soporte.

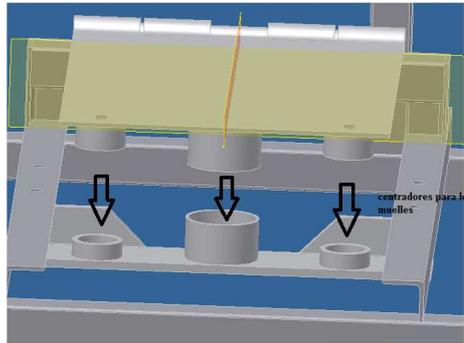


Fig. 34 Posición en donde estarán colocados los muelles.

En la imagen anterior podemos ver el lugar en donde se colocarán los muelles para compensar el peso de la carga que se colocará en la parte superior, en una primera instancia con objetos de pruebas se colocará solo dos muelles de las siguientes características, las constantes de los muelles se las sacó de una forma práctica con la colocación de cargas en la parte superior del mismo.



Fig. 35 Imagen del muelle empleado

En la imagen podemos ver la forma de un muelle, como se mencionó utilizaremos dos muelles, el otro muelle es de las mismas características del que se presenta en la gráfica anterior. Las cargas que se utilizó para obtener el coeficiente K de los muelles se encuentran en la siguiente tabla:

Masa (kg)	Fuerza (N)	Desplazamiento (m)	Constante K
10	98,1	0,005	19620
16	156,96	0,01	15696
21	206,01	0,015	13734
27	264,87	0,02	13243,5

Tabla 7 Datos obtenidos por medio de pruebas para la obtención del coeficiente K del muelle

Para obtener estos datos aplicamos la formula siguiente:

$$F = k * x$$

$$k = \text{coeficiente}$$

$$x = \text{desplazamiento}$$

Para obtener el dato que utilizaremos aplicamos:

$$k_{final} = \frac{k1 + k2 + k3 + k4}{4}$$

$$k_{final} = \frac{19620 + 15696 + 13734 + 13243,5}{4}$$

$$k_{final} = 15573,37 \frac{N}{m}$$

La constante k que utilizaremos para calcular la carga que se encuentra gravitando sobre la mesa de soporte es de 15573,37 N/m. Para retomar nuevamente lo mencionado anteriormente que establecimos la distancia del eje de 61 cm, y establecemos las medidas dimensionales de la estructura los cuales podemos ver los planos del mismo en el Apéndice A, el diagrama del eje y las distancias que se colocaran las chumaceras se podría definir a partir del diámetro del eje, pero estamos generando demasiadas variables y no tenemos valores para el cálculo por lo que establecemos que la separación de las bases en donde se colocaran las chumaceras es de 510 mm por lo tanto podemos realizar el cálculo del eje a flexión.

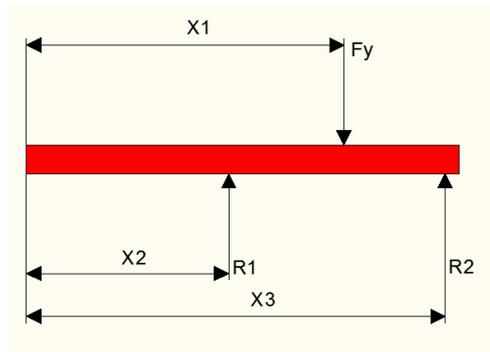


Fig. 36 Diagrama de fuerzas

En la imagen anterior vemos la forma de distribuir las cargas a lo largo del eje con estos datos podemos realizar el cálculo, tenemos datos conocidos como son la distancia del eje, la fuerza resultante del sistema R_y que calculamos anteriormente que es de 4321,48 N, y establecimos que la distancia de separación de las chumaceras será de 510 mm por lo que podemos realizar los cálculos. Para realizar el cálculo tanto de valores máximos que necesitamos para el cálculo del diámetro del eje utilizaremos un programa llamado MDSolid en donde aparte de realizar los diagramas de esfuerzo y momento cortante nos entrega los valores de las reacciones por lo que tenemos:

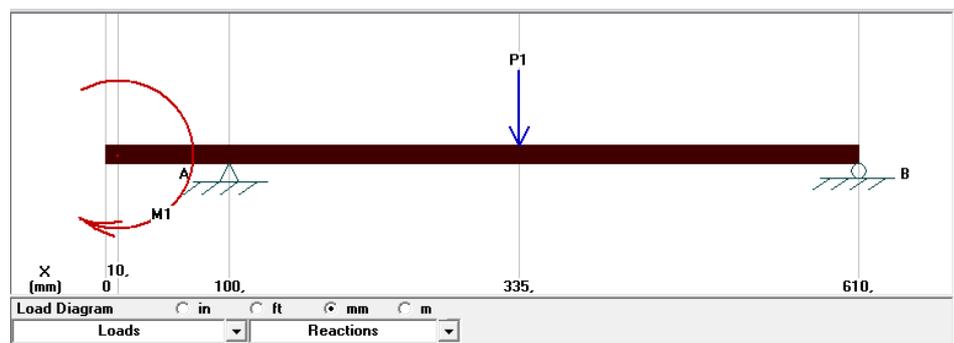


Fig. 37 Distribución de cargas y momento (torque)

En la imagen anterior utilizamos un programa para calcular algunos de los parámetros que necesitamos para el cálculo del diámetro del eje, el programa que utilizamos es el MDSolid, el objetivo de este programa es el de darnos los diagramas de cargas y el de momento.

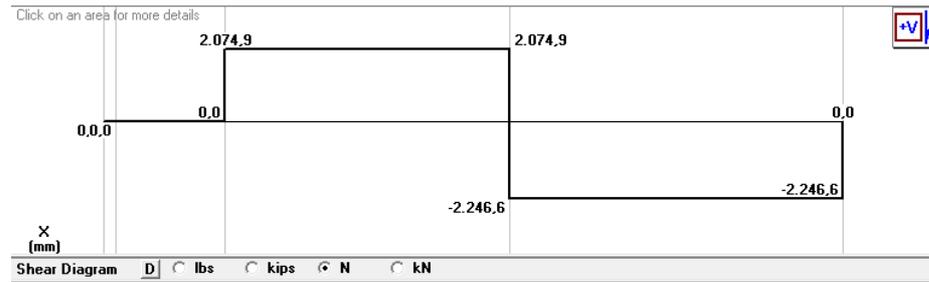


Fig. 38 Diagrama de cargas que se somete al eje.

En la imagen vemos que el punto donde se aplica la carga máxima es en donde se encuentra la carga ejercida por el peso y es en donde se tendrá a sufrir deformaciones y también tenemos los valores de las reacciones las cuales son $R_1 = 2074,9 \text{ N}$ y $R_2 = 2246,6 \text{ N}$.

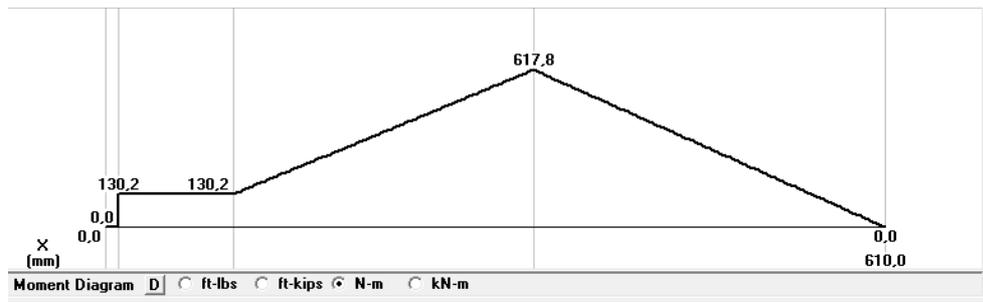


Fig. 39 Diagrama de momentos máximos.

En esta imagen podemos ver que el momento máximo está en el centro en base a estos datos procedemos a calcular el diámetro del eje aplicando la siguiente fórmula la cual nos da el radio del eje:

$$c = \left(\frac{2}{\pi \Gamma_{\text{permisible}}} \sqrt{M^2 + T^2} \right)^{1/3}$$

Por lo tanto tenemos:

³Fórmula tomada de NORTON, ROBERT "Diseño de Máquinas" Pg. 567

$$c = \left(\frac{2}{\pi T_{\text{permissible}}} \sqrt{M^2 + T^2} \right)^{1/3}$$

$$c = \left(\frac{2}{\pi * 276 \times 10^6} \sqrt{617,8^2 + 130,22^2} \right)$$

$$c = 0,01088m$$

$$d = c * 2$$

$$d = 0,01088 * 2$$

$$d = 0,02016m \approx 21,67mm$$

El resultado nos entrega que el valor mínimo para el diámetro del eje es de 21,67 mm y si lo comparamos con el diámetro que obtuvimos anteriormente el valor es de 13,39 mm con lo que vemos la diferencia de diámetros, si optamos por el valor de 13,39 mm podemos tener problemas con el eje que tendería a flexionarse el mismo, si tomamos el valor mínimo que obtuvimos de 21,67 mm el valor comercial es el de 1” (25,4 mm), pero estaría dentro de los valores mínimos por lo tanto utilizaremos un diámetro mayor de 38.10 (1 ½”) el cual sería un valor comercial que se puede encontrar en el mercado. En base a esto determinamos las chumaceras y el acople tipo araña que utilizaríamos. Para la selección del acople tipo araña nos basamos en el catálogo.

Coupling Nominal Rated Torque

Chart 3

Size	Maximum Bore		Spider Material							
	Inch	mm	SOX(NBR) Torque		Urethane Torque		Hytrel Torque		Bronze Torque	
			in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm
L035	.375	9	3.5	0.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
L/AL050	.625	16	26.3	3.0	39	4.5	50	5.6	50	5.6
L/AL070	.750	19	43.2	4.9	65	7.3	114	12.9	114	12.9
L/AL075	.875	22	90.0	10.2	135	15.3	227	25.6	227	25.6
L/AL090	1.000	25	144.0	16.3	216	24.4	401	45.3	401	45.3
L/AL095	1.125	28	194.0	21.9	291	32.9	561	63.4	561	63.4
L/AL099	1.188	30	318.0	35.9	477	53.9	792	89.5	792	89.5
L/AL100	1.375	35	417.0	47.1	626	70.7	1134	128.0	1134	128.0
L/AL110	1.625	42	792.0	89.5	1188	134.0	2268	256.0	2268	256.0
L150	1.875	48	1240.0	140.0	1860	210.0	3708	419.0	3706	419.0
AL150	1.875	48	1450.0	163.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
L190	2.125	55	1728.0	195.0	2592	293.0	4680	529.0	4680	529.0
L225	2.625	65	2340.0	264.0	3510	397.0	6228	704.0	6228	704.0
L276	2.875	73	4716.0	533.0	N/A	N/A	N/A	N/A	12500	1412.0
C226	2.500	64	2988.0	338.0	N/A	N/A	5940	671.0	5940	671.0
C276	2.875	73	4716.0	533.0	N/A	N/A	9432	1066.0	N/A	N/A
C280	3.000	76	7560.0	854.0	N/A	N/A	13866	1567.0	N/A	N/A
C285	4.000	102	9182.0	1038.0	N/A	N/A	16680	1882.0	N/A	N/A
C295	3.500	89	11340.0	1281.0	N/A	N/A	22680	2563.0	22680	2563.0
C2955	4.000	102	18900.0	2136.0	N/A	N/A	37800	4271.0	37800	4271.0
H3067	4.500	114	33395.0	3774.0	N/A	N/A	47196	5333.0	47196	5333.0
H3567	5.000	127	46632.0	5269.0	N/A	N/A	63000	7119.0	63000	7119.0
H3667	5.629	143	64812.0	7323.0	N/A	N/A	88200	9966.0	88200	9966.0
H4067	6.250	159	88224.0	9969.0	N/A	N/A	126000	14237.0	126000	14237.0
H4567	7.000	178	119700.0	13525.0	N/A	N/A	170004	19209.0	170000	19209.0

Note: Bronze has a maximum RPM capability of 250 RPM. N/A indicates not available.

JW-7

Fig. 40 Tabla de acoples tipo araña en base al torque nominal (Fuente de la imagen del catálogo de acoples tipo araña de

Lovejoy <http://www.houstonbearing.com/pdf/LOVEJOY-JAW.PDF>)

En la imagen anterior podemos ver la tabla de donde partimos para escoger el tipo de acople, los fabricantes nos recomiendan que escojamos el elemento según el torque nominal del motor el cual a la salida del reductor es de 62,85 Nm y según el diámetro del eje que se utilizará, en base a estos datos escogemos el acople tipo araña el cual es el L/AL 110 SOX(NBR) el cual las características son:

- Diámetro máximo del agujero de 42 mm.
- Torque nominal de 89,5 Nm

Con los datos que tenemos tanto el diámetro del eje como el torque nominal adquirimos este acople. Las chumaceras seleccionamos en base al diámetro del eje, la chumacera que se adquirió en base al diámetro del eje es la NTN 208.



Fig. 41 Chumaceras NTN de la serie P (Fuente de la imagen http://www.casapellas.com/industr/ntn_docs/CHUMACERAS.pdf)

En la imagen anterior podemos apreciar las chumaceras de tipo P, como ya se estableció el tipo de acople, el eje, la rueda excéntrica y las chumaceras, la característica de las chumaceras y el acople tipo araña es que poseen perforaciones para colocar prisioneros, los prisioneros que se utilizaron son los prisioneros tipo DIN 913.

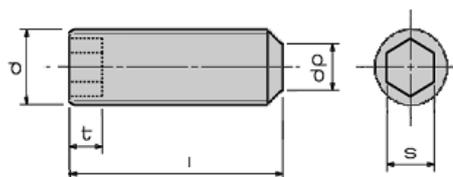


Fig. 42 Imagen esquemática de los prisioneros tipo DIN 913 (Fuente de la imagen <http://www.valvias.com/prontuario-rosca-tornillo-prisionero-allen-din-913.php>)

En la imagen anterior podemos apreciar la forma de los prisioneros que se utilizaron en la colocación de los elementos en el eje.



Fig. 43 Imagen de los implementos colocados en el eje.

En la imagen tenemos los elementos colocados en el eje cabe recalcar que la excéntrica que utilizaremos se la fabrico en base a un eje de diámetro de 128 mm con una longitud de 100mm (Detalles de la excéntrica en el Apéndice A), también se colocó una chaveta tipo B en la unión del eje con el matrimonio (acople tipo araña) las características de la chaveta de tipo B es de 10 x 8 x 40 mm tipo DIN 6886. Ya que se estableció la mayor parte de los componentes y ya tenemos la carga que gravitara sobre la mesa de soporte procedemos a calcular la fuerza que se tendrá que aplicar por parte del motor para comprimir el sistema de suspensión (muelle) los 28 mm de alzada que estamos estableciendo por parte de la excéntrica. Por lo tanto aplicamos la fórmula:

$$\begin{aligned}
 F &= k * x \\
 x &= 28\text{mm} \approx 0,028\text{m} \\
 k &= 30639 \frac{\text{N}}{\text{m}} \\
 F &= 30639 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 0,028\text{m} \\
 F &= 857,89\text{N}
 \end{aligned}$$

La fuerza que necesitamos para que el sistema se comprima los 28 mm es de 857,89 N, esta fuerza es la que tiene que suplir el motor pero lo que necesitamos es que el mismo aparte de la fuerza que necesita para comprimir el sistema de suspensión

también necesita suplir con el peso “carga” que se encuentra soportada sobre la mesa de soporte la cual es de:

$$R_y = 4321,48 \text{ N}$$

Si le sumamos a la fuerza que necesita para comprimir el muelle tenemos:

$$R_{total} = 4321,48N + 857,89N$$

$$R_{total} = 5179,37N$$

Por lo tanto la fuerza que tiene que suplir el motor es de 5179,37 N para poder accionar el sistema de suspensión por lo tanto vamos a ver si el motor nos puede entregar esta fuerza de accionamiento aplicando la fórmula siguiente ya que tenemos conocido el valor del torque de salida de la caja de reducción:

$$T = F * d$$

En donde d es la distancia que en este caso será el radio del eje por lo que tenemos:

$$T = F * d$$

$$d = r$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{62,7Nm}{0,01905m}$$

$$F = 3291,33N$$

Como se obtuvo en el cálculo con el torque nominal del motor vemos que la fuerza que aplica en el momento que se encuentra a su velocidad nominal tiene un déficit con relación a la fuerza necesaria, aunque se tomó en consideración la utilización de unos muelles para compensar el peso que gravitaría sobre la mesa de soporte el cual suprimiría una gran parte del peso que se aplicaría por parte del sistema de suspensión respectivamente de la masa suspendida. Con la colocación de los muelles sería una solución práctica en la compensación de peso que se encontraría en el banco, la utilización de los muelles sería para compensar la falta de fuerza de empuje, si realizamos el cálculo con el torque de arranque tenemos:

$$T = F * d$$
$$d = r$$
$$F = \frac{T}{r}$$
$$F = \frac{138,22Nm}{0,01905m}$$
$$F = 7255,64N$$

Con el torque de arranque vemos que la fuerza necesaria para levantar el sistema de suspensión con la fuerza necesaria para comprimir el muelle el problema es el momento que se alcance el torque nominal, lo que se puede dar una solución es que se realicen las pruebas con menos carga debido a las capacidades del motor con relación a su torque nominal.



Fig. 44 Imagen de la conexión entre el motor eléctrico, caja de reducción y acople tipo araña.

Podemos ver la forma de conexión de los implementos utilizados para la generación de movimiento, por lo tanto ya que se ha establecido un prototipo podemos tener un modelo final del banco de suspensión.

3.8 PROPUESTA FINAL DEL BANCO DE PRUEBAS

En esta instancia ya que se han definido la mayor parte de los implementos que ya se han discutido y se han analizado de una forma mucho más detenida que se ha partido de la desde los elementos de suspensión determinados para el uso en el banco de suspensión. La forma básica como ya se han dado detalles en instancias anteriores quedaría de la siguiente forma:

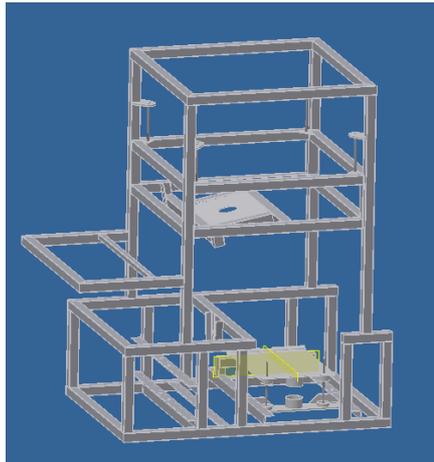


Fig. 45 Estructura básica del banco de suspensión

Podemos ver en la imagen anterior la forma definitiva del banco de pruebas en base a ciertos elementos que se han designado para su utilización, en si la estructura básica y la mesa de sujeción para el sistema de suspensión no ha variado en nada lo que se ha colocado son unos soportes en la parte superior en donde se colocó pernos en las cuatro esquinas para poder darle carga al sistema e impedir que el momento que se realice el movimiento de compresión por parte de la excéntrica esta no suba con todos los elementos de la suspensión.

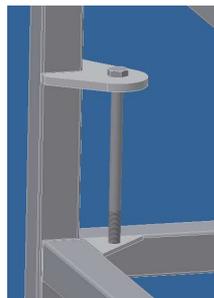


Fig. 46 Imagen gráfica de los pernos de carga.

En la imagen que se presentó anteriormente podemos ver la forma como se colocaría los pernos para poder dotar de carga a la mesa de sujeción del sistema de suspensión y para impedir que la misma suba con el movimiento que genera la excéntrica. Lo que podemos detallar es que en si el banco está dividido en tres secciones las cuales son:

- La estructura básica
- La mesa de sujeción del sistema de suspensión
- La mesa de soporte para el sistema de suspensión

La estructura básica del banco de pruebas es el marco de soporte en donde se colocarán todos los elementos

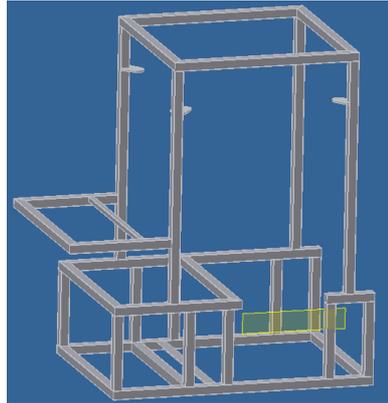


Fig. 47 Estructura básica

En la imagen anterior vemos la estructura básica del banco de pruebas, en si la estructura básica se estableció sin tomar en cuenta ninguna consideración elementan en base a los elementos del sistema de suspensión, si no que la propuesta de esta estructura está basada en la facilidad de montaje, adaptación y desmontaje de los elementos que ya hemos designado, en la estructura básica podemos ver un marco que sale flotante en la parte izquierda de la imagen, este marco se lo colocó como base o escritorio si así se lo puede decir para colocar el computador y algunos controles para el funcionamiento del banco.

La mesa de sujeción se ha basado en un parámetro muy importante que es el ángulo que obtenemos entre el eje y con la inclinación del amortiguador (ángulo de salida).

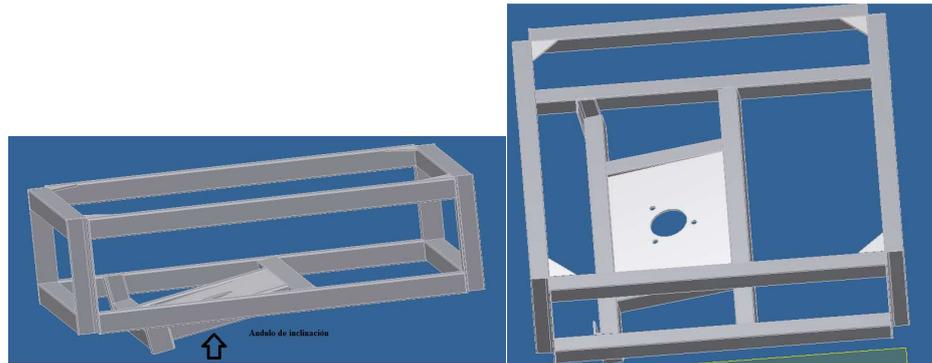


Fig. 48 Mesa de sujeción del sistema de suspensión

En la imagen está la forma de la mesa de sujeción, en el lugar donde se muestra la flecha podemos ver es la plataforma en donde se sujetará el amortiguador, esta mesa se la estableció en base a datos constructivos del sistema de suspensión.

Por última parte se tiene el lugar en donde estará colocado la mesa de soporte del sistema de suspensión y el lugar en donde se encuentra la rueda excéntrica estos elementos ya fueron definidos ya que se generaron demasiadas variables en el diseño por lo que se debieron eliminar algunas de ellas para poder en cierto modo facilitarnos el diseño del banco de pruebas.

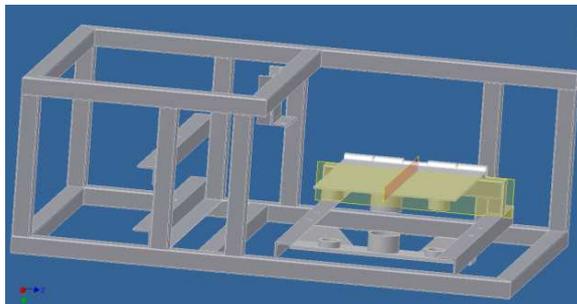


Fig. 49 Imagen de la mesa de soporte.

En la imagen anterior presentada vemos en donde estará colocada la excéntrica y los soportes en donde estarán colocadas las chumaceras que se estableció. Este modelo de mesa de soporte es un sistema al que en cierta forma como ya se mencionó no se lo tomo mucha importancia ya que la mesa de soporte solo es en donde el sistema de suspensión se asienta y la excéntrica al girar genera el movimiento que estamos buscando en si cabe recalcar que se colocó un punto fijo de la mesa de soporte para evitar que la misma tenga movimientos longitudinales.

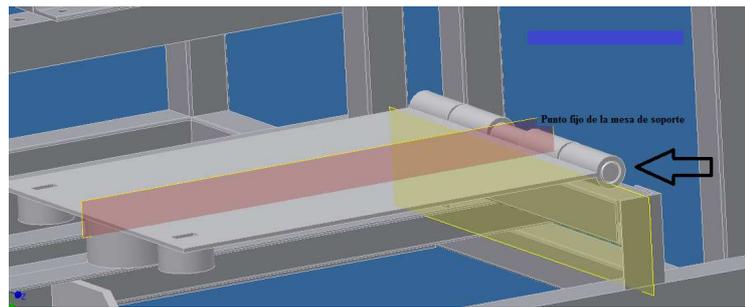


Fig. 50 Punto fijo de la mesa de soporte

En la imagen anterior presentamos el punto fijo de la mesa de soporte, este punto está colocado con un eje, la unión se la realiza por medio de unos bujes colocados tanto en la base como en la mesa de soporte, con esta unión nos permite generar el movimiento vertical de la mesa y no tendríamos movimientos longitudinales que afectarían al movimiento de la mesa de soporte. Cabe recalcar que un elemento se lo colocará en el momento que se realice la construcción del banco de pruebas el cual es el soporte para la colocación de la mesa de suspensión ya que para colocar la misma se la debe de realizar con los elementos del sistema de suspensión montados en el banco de pruebas.

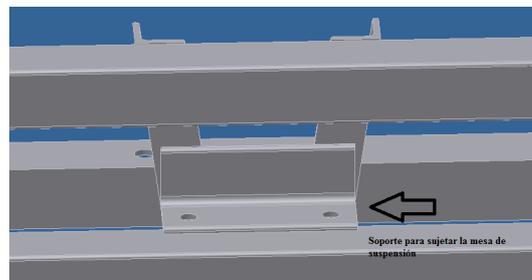


Fig. 51 Soporte de sujeción para la mesa de suspensión

En la imagen presentada anteriormente podemos ver una forma básica del soporte que se le puede colocar para la sujeción de la mesa de suspensión.

3.9 DIMENSIONADO GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS.

Para el dimensionado del banco de pruebas se han considerado las partes funcionales del banco de pruebas como son el sistema de suspensión y el resto de elementos que se encuentran involucrados en el funcionamiento del mismo, uno de

los pasos importantes es la realización de esquemas detallados para el mejor entendimiento de la forma que tomará el banco de pruebas, debido a que el banco en si no es una estructura demasiadamente complicada pero tiene zonas que necesitan detalles específicos para su construcción por lo tanto presentamos los esquemas que se realizaron con acotaciones de medidas los cuales se pueden apreciar en el Apéndice A de este trabajo, los dibujos detallados se los a realizado individualmente para la mejor comprensión de los mismos con el objeto de realizar la construcción del banco de pruebas.



Fig. 52 Modelo tridimensional del banco de pruebas

En la imagen anterior presentamos un modelo tridimensional del banco de pruebas realizado en el programa Inventor, esta representación del banco de pruebas está realizado con las medidas originales del banco de pruebas establecidas en los planos que se presentaron en el Apéndice A.

3.10 MATERIALES A UTILIZARSE Y ANALISIS ESTRUCTURAL.

Como una parte complementaria del proceso de diseño y de selección de los elementos que se utilizaran en la construcción del banco de pruebas, procedemos a establecer los materiales que utilizaremos en la construcción del banco de pruebas para proceder a realizar el cálculo o el análisis estructural, el objetivo de este punto es con el afán de ver si las cargas que se tendrían en el funcionamiento del banco de pruebas este las puede soportar y encontrar los puntos críticos en donde el banco tendrá esfuerzos máximos y puntos de corte, aunque no se realizará el cálculo de

algunos elementos ya que los mismos se encuentran fuera del alcance del trabajo o son elementos complementarios que se ha establecido para el funcionamiento del mismo, o los cuales no los estamos construyendo. Antes de realizar el análisis establecemos los materiales con los que se construirá el banco de pruebas, para la estructura básica y mesa de suspensión ya que son estructuras de soporte utilizaremos acero estructural A36 el cual tiene las siguientes características:

Acero laminado en caliente	Composición química de colada	Resistencia de fluencia mínima, S_y		Resistencia a la tracción mínima, S_u		Elongación mínima ^{ΔΔ} (en 200 mm) %	Características y aplicaciones
		MPa	ksi	MPa	ksi		
ASTM A-36 (NTC 1920)	Carbono (C): 0.26% máx. Manganeso (Mn): no hay requisito Fósforo (P): 0.04% máx. Azufre (S): 0.05% máx. Silicio (Si): 0.40% máx. *Cobre (Cu): 0.20% mín.	250	36	400	58	12.5 a 20.0: 12.5 (1/8") 15.0 (3/16") 17.5 (1/4") 19.5 (5/16") 20(1/2"-3/8")	Acero estructural al carbono. Estructuras metálicas, puentes, torres de energía y para comunicación, edificaciones soldadas, remachadas o atornilladas, herrajes eléctricos y señalización

Fig. 53 Tabla de características mecánicas del acero estructural A36

En la imagen anterior tenemos las características del acero estructural A36 para el análisis utilizaremos el A36 50 x 50 x 2 mm, el cual se nos recomendó que era el adecuado para la construcción del banco de pruebas y por su espesor de la viga de 2 mm que soporta muy bien altas temperaturas para la soldadura. Otro de los materiales a utilizarse son las planchas de acero de 5 y 10 mm, los ejes que se utilizarán para la transmisión de movimiento desde el motor hasta la excéntrica ya fue definido en un cálculo anterior por lo que no realizaríamos un nuevo análisis del eje, el eje pasador que se utilizará en la unión de la mesa de soporte es el 1035 de 1" de diámetro (25,4 mm) como ya se detalló en los diagramas presentados anteriormente, se utilizarán los perfiles de alas iguales como bases para colocar como bases en donde se colocarán el motor eléctrico, el reductor y las chumaceras.

Perfil	Dimensiones nominales*	Clases de acero**
Ángulos de alas iguales	1 ½" × 1 ½" × 1/8" - 3/16" - ¼"	ASTM A-36 ASTM A-572 ASTM A-242 ASTM A-588
	1 ¾" × 1 ¾" × 1/8" - 3/16" - ¼"	
	2" × 2" × 1/8" - 3/16" - ¼"	
	2 ½" × 2 ½" × 3/16" - ¼"	
	3" × 3" × ¼" - 5/16" - 3/8"	
Ángulos de alas desiguales	4" × 4" × ¼" - 5/16" - 3/8" - ½"	ASTM A-36 ASTM A-572
	3" × 2" × 3/16" - ¼"	
Canales	3" × 2 ½" × 3/16" - ¼"	ASTM A-36 ASTM A-572
	3" × 4.1 lbf/ft	
Platinas	4" × 5.4 lbf/ft	AISI 1045 AISI 1060
	3" × 3/8" - ½" - 5/8"	
	3 ½" × 3/4" - 1" - 1 ¼"	
Cuadrados	4" × 3/8" - ½" - 5/8" - ¾"	AISI 1045 AISI 1060
	46 mm, 57 mm, 68 mm, 64 mm	
Redondos lisos	7/8" - 1" - 1 1/8" - 1 ¼" - 1 3/8" - 1 ½" - 1 5/8" - 1 7/8" - 2" - 2 1/8"	AISI 1016 AISI 1030 AISI 1045 AISI 1060

Fig. 54 Tabla de las dimensiones nominales de los perfiles de alas iguales.

En la imagen anterior presentamos una tabla de las dimensiones nominales de los perfiles de alas iguales, para el banco utilizaremos el perfil de alas iguales ASTM A36 2" x 2" x 3/16" y la ASTM A 36 1 ½ " x 1 ½ " x 3/16 " para fabricar el soporte donde se fijará la mesa de suspensión. Establecidos los materiales que se utilizarán para el análisis procedemos a realizar el mismo.

3.10.1 ANALISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural lo realizaremos por medio de un programa computacional para lo cual utilizaremos el programa ANSYS 12.1, por lo que necesitaremos el modelo tridimensional que se realizó en Inventor 2010, la compatibilidad de estos dos programas nos permite trasladar el modelo tridimensional al programa ANSYS, por lo que debemos establecer la locación de las cargas más importantes. Las cargas más importantes que podemos recalcar que afectan a la estructura del banco de pruebas son las siguientes:

- Carga ejercida por la masa suspendida $P = 3924 \text{ N}$.
- Carga total ejercida sobre la mesa de soporte $P_t = 4321,48 \text{ N}$.
- Reacciones ejercidas en las chumaceras $R_a = 2074,9 \text{ N}$ y $R_b = 2246,6 \text{ N}$.
- Fuerzas ejercidas por los muelles compensadores de carga $F_1 = 778,66 \text{ N}$ y $F_2 = 778,66 \text{ N}$.
- Cargas repartidas en los pernos a ejercer sobre la mesa que es $P/4$ $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 981 \text{ N}$.

Estas son las cargas más importantes que podemos recalcar, el análisis estructural que se realizara es un análisis estático por lo que no tomaremos en cuenta por el momento la fuerza ejercida por el motor no lo tomaremos en cuenta ya que es una fuerza dinámica por lo que no la tomaremos en cuenta. En primera instancia definiremos ciertos parámetros para el análisis en ANSYS.

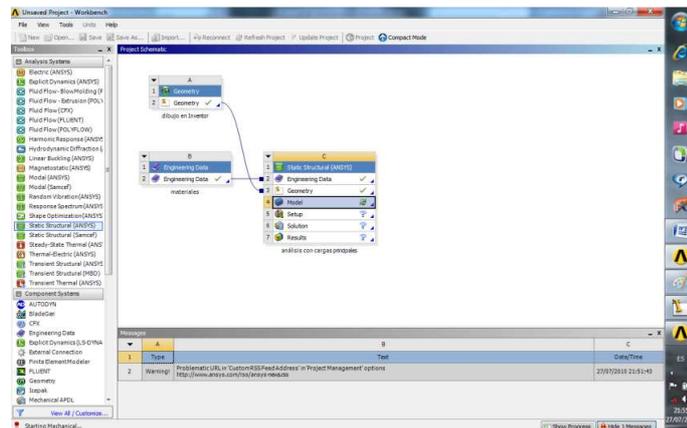


Fig. 55 Pantalla de inicio del programa ANSYS.

En esta parte en la imagen presentada vemos la pantalla de inicio del programa ANSYS en donde definimos los materiales en el link ENGINEERING DATA en donde se colocó que utilizaremos un acero estructural, luego el de GEOMETRY en donde cargamos el dibujo en tres dimensiones desde el INVENTOR, y luego escogemos el link de STATIC STRUCTURAL (ANSYS) en donde realizamos el análisis. Estos íconos encontramos en la parte izquierda de pantalla del ANSYS. Luego enlazamos el ENGINEERING DATA y el GEOMETRY al STATIC STRUCTURAL (ANSYS) y podemos hacer el cálculo de la estructura. Para el cálculo necesitamos generar un mallado de toda la estructura desde el ANSYS por lo que tenemos:

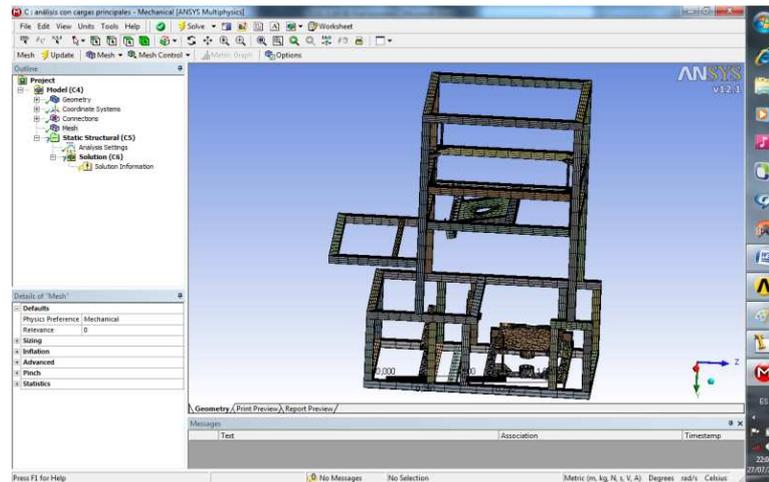


Fig. 56 Mallado del banco de pruebas

El mallado se lo realiza para que el programa pueda realizar el cálculo, luego colocamos las cargas que se establecieron son las más importantes:

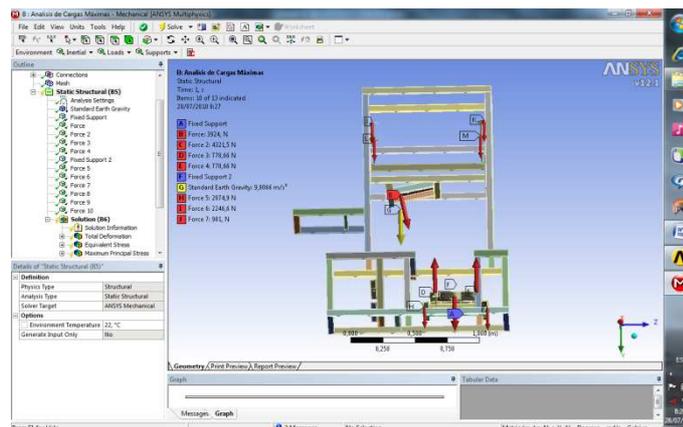


Fig. 57 Imágenes de las cargas más importantes

Ya se han definido y establecido los puntos de las cargas más importantes en el banco de pruebas ahora definimos que necesitamos analizar, lo que nos interesa saber es que se esta estructura resiste las fuerzas que se encuentran en ella, los cálculos que realizara el programa son para encontrar la deformación total, esfuerzos equivalentes, máximo esfuerzo principal, mínimo esfuerzo principal, máximo esfuerzo cortante y el factor de seguridad. El primer cálculo es la deformación total por lo que el programa nos dio los siguientes resultados:

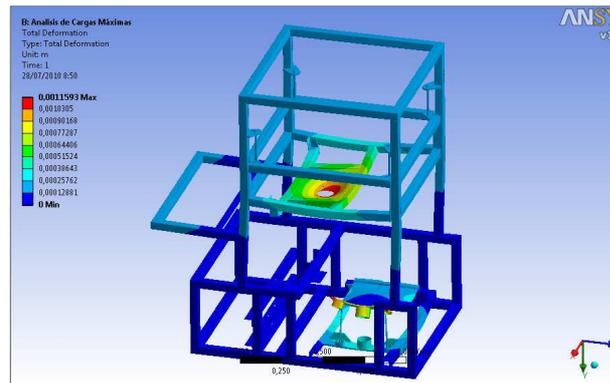


Fig. 58 Imagen del cálculo de deformación total.

En la imagen tenemos las deformaciones dadas por el banco en el momento que se aplican las cargas, cabe recalcar que este programa utiliza los valores obtenidos por medio de una barra de colores que están desde un máximo de color rojo, a un valor nulo de color azul, en la imagen vemos que tenemos dos puntos donde la deformación es crítica los cuales son en la mesa de sujeción y en la de soporte.

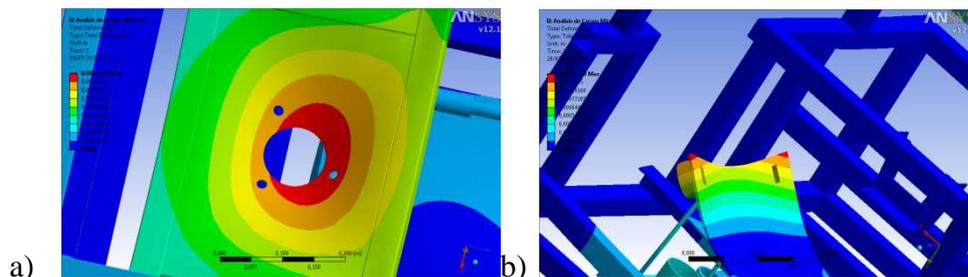


Fig. 59 Imagen de la deformación total (puntos de máxima deformación)

En las imágenes (a) y (b) podemos ver las zonas en donde existen las deformaciones máximas (color rojo), cuyos valores son de 0,0011593 m (aprox. 1,15 mm) vemos que la deformación más importante se concentra en la el lugar donde se encontraría sujeto el amortiguador por lo que una de las recomendaciones sería reforzarle esta zona para que no sufra deformaciones. Por el resto de la estructura vemos que no tiene mayores deformaciones. El siguiente cálculo que realizó el programa es el esfuerzo equivalente en toda la estructura por lo que el programa nos entregó los siguientes resultados:

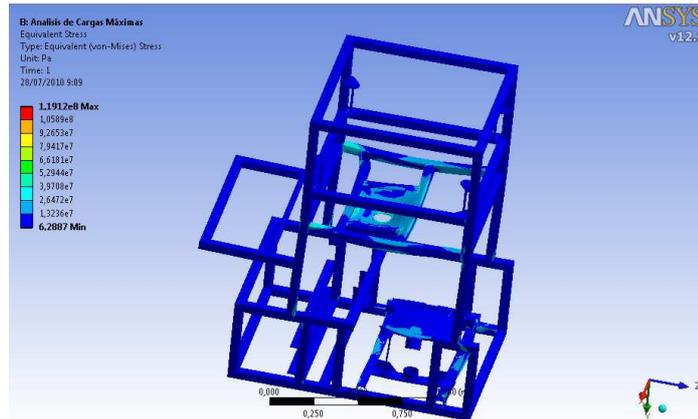


Fig. 60 Imagen del cálculo del Esfuerzo equivalente

En la imagen anterior podemos ver la gráfica del esfuerzo equivalente, este cálculo lo realiza aplicando el teorema de Von Mises y por medio del código de colores vemos que la estructura no presenta esfuerzos máximos, los valores máximos y mínimos son los siguientes:

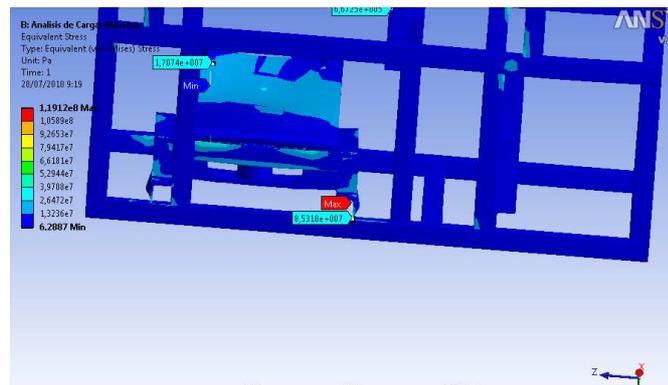


Fig. 61 Imagen de la localidad de los valores máximos y mínimos.

Los valores máximos y mínimos como se puede apreciar en la figura son 8,5318 e 7 Pa y de 1,7674 e 7 Pa.

El siguiente cálculo que se realizó es el de Máximo Esfuerzo Principal por lo que los valores obtenidos por medio del programa son:

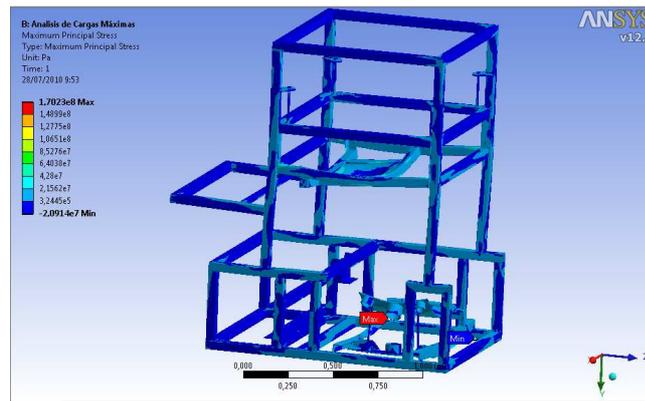


Fig. 62 Imagen de la estructura en el cálculo del Max. Esfuerzo Principal

En la imagen podemos ver el diagrama del banco de pruebas y podemos ver que no tiene puntos rojos que indiquen un esfuerzo que llegue al máximo, sin embargo se ha encontrado un punto donde señala el valor máximo donde se encuentra una zona de color rojo el cual es una sección sumamente pequeña pero vale la pena de establecer.

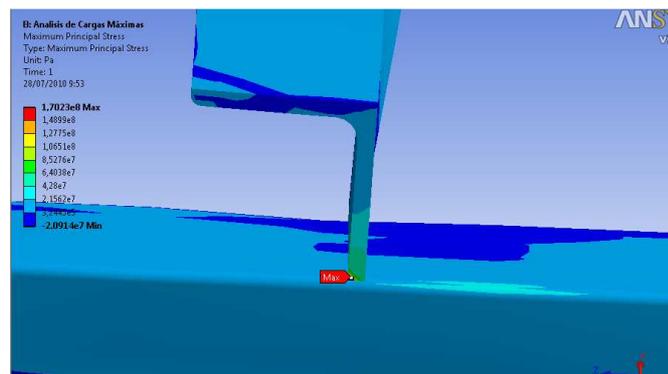


Fig. 63 Zona donde se encuentra un esfuerzo máximo

En la imagen podemos ver la zona en donde se encuentra concentrado el esfuerzo máximo y es en la unión de un perfil de alas iguales con un perfil estructural, es una zona sumamente pequeña pero hay que tomarla en cuenta ya que puede generar problemas los valores máximos y mínimos obtenidos son de $1,7023 \times 10^8$ Pa y de $-2,0914 \times 10^7$ Pa respectivamente. Por otra parte también se calculó con la ayuda del programa de ANSYS el esfuerzo mínimo principal entregándonos los siguientes valores:

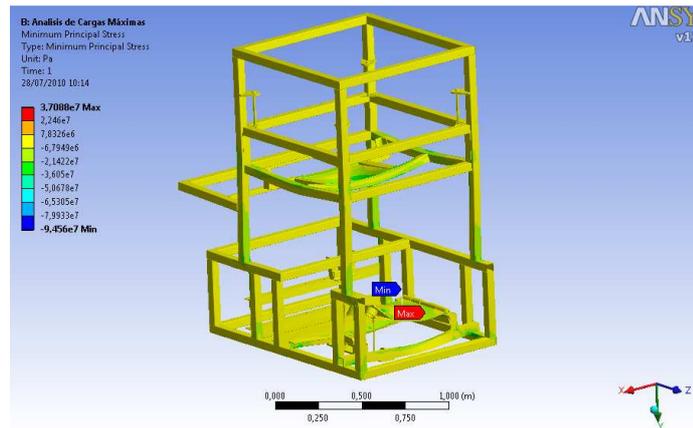


Fig. 64 Imagen del cálculo del Esfuerzo Mínimo Principal.

En la imagen lo que podemos ver es al banco sometido a esfuerzos para ver en los lugares donde se tendrían puntos propensos a fallas para ver si la estructura que proponemos sirve para la el uso que se le daría en los dos últimos cálculos que se los han realizado vemos que se tiene un esfuerzo máximo concentrado en una sola zona que es en la unión de un perfil de alas iguales ASTM A-36 2" x 2" x ^{3/16} " con un perfil estructural ASTM A-36 de 50 x 50 x 2 mm, esta es una zona sumamente pequeña.

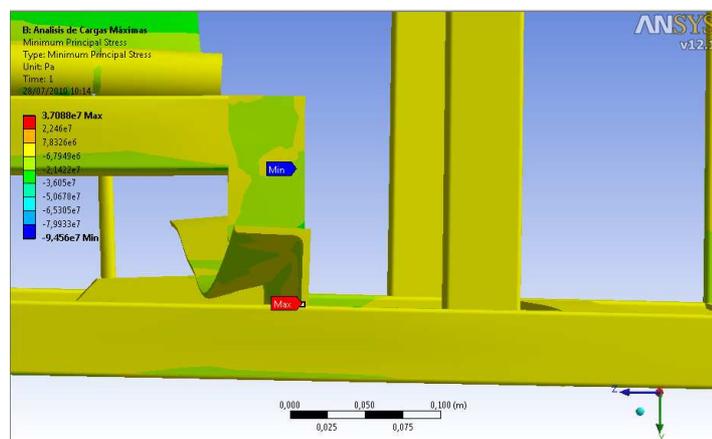


Fig. 65 Zona donde se presenta el valor máximo

En la imagen podemos ver que se repite la zona en donde se encuentra el valor máximo de esfuerzo que es en esta unión que ya hemos mencionado, en los cálculos realizados por medio del programa vemos que la concentración de esfuerzos se ha realizado más en esta zona lo cual como recomendación sería de reforzar esta parte aunque es una zona sumamente pequeña, por último presentamos el último cálculo

que se realizó en el programa que es el máximo esfuerzo cortante lo cual los resultados obtenidos son los siguientes:

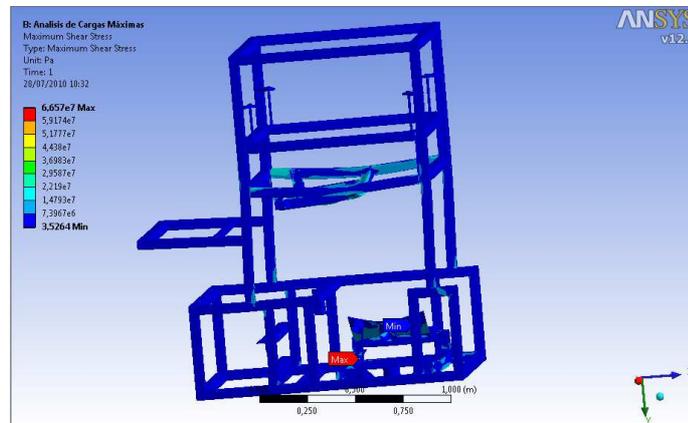


Fig. 66 Imagen del cálculo del Máximo Esfuerzo Cortante

En la imagen podemos ver que la gráfica no nos presenta zonas de máximo esfuerzo cortante en partes principales de la estructura pero como se ha mencionado tenemos un punto donde se nos se encuentra concentrado los valores máximos el cual se establece en la zona ya antes mencionada.

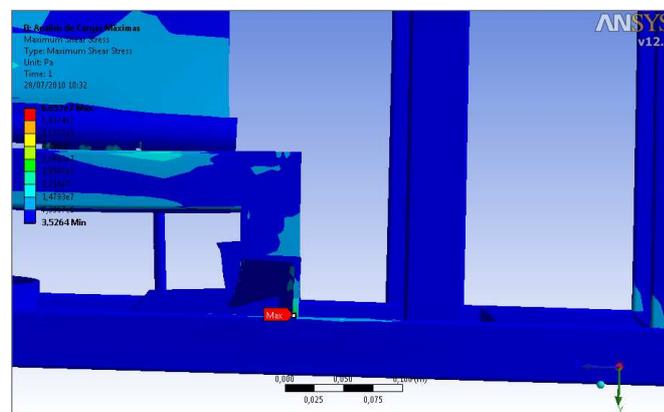


Fig. 67 Zona donde se presenta el máximo esfuerzo cortante.

Como ya se ha mencionado y vale la redundancia los cálculos que se han presentado vemos que los esfuerzos se concentran en esta zona, ahora ya sabemos cuál es el punto donde se acumula los máximos esfuerzos para tomarlo en cuenta en el momento que se realice la construcción del banco. Pero antes debemos establecer el factor de seguridad que tiene el banco para ver si es factible realizar la construcción del mismo.

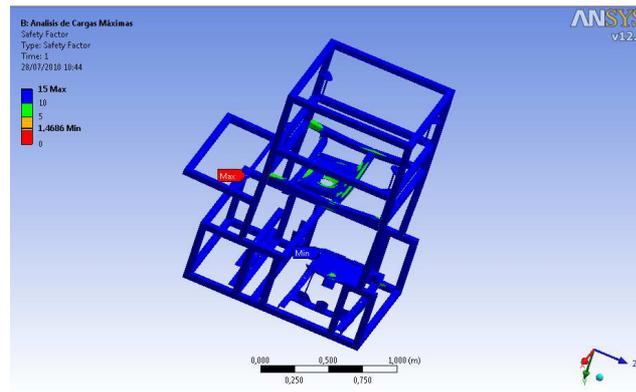


Fig. 68 Imagen obtenida del factor de seguridad

En la imagen podemos ver el cálculo realizado por medio del programa del factor de seguridad del banco de pruebas y como tal el factor de seguridad de la mayor parte de la estructura es un valor sumamente alto pero lo que más nos interesa es el valor en donde teníamos la concentración de esfuerzos el cual el valor es de 1,4686 el cual se encuentra superior al factor ideal de 1, se ha investigado sobre el factor de seguridad para una estructura tener valores un poco altos estaría dentro de los parámetros óptimos.

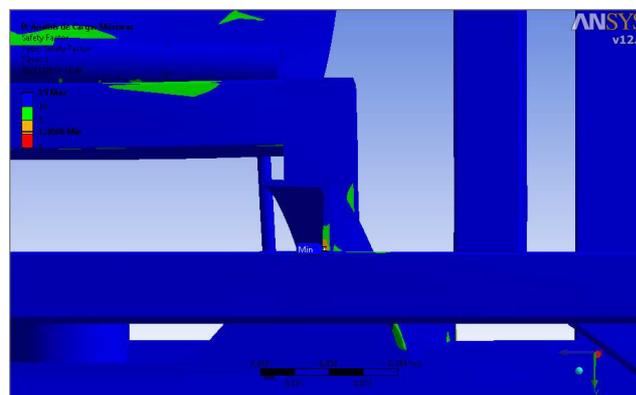


Fig. 69 Imagen de la zona de acumulación de esfuerzos.

Como ya se ha mencionado se presenta la imagen de la zona donde tenemos la acumulación de esfuerzos y vemos que el valor del factor de seguridad está por encima del valor mínimo de 1 por lo tanto la estructura soporta las cargas que se ejercen sobre el mismo por lo tanto se considera factible la construcción del banco ya que se lo puede utilizar como plataforma base para la generación de otras aplicaciones y mejoras constantes en su diseño.

3.11 CONSTRUCCION DEL BANCO

Ya que se ha realizado el análisis matemático y la generación de diagramas con las dimensiones del banco de pruebas procedemos a la construcción del mismo, se utilizarán los materiales que se establecieron para el análisis estructural, con las vigas de acero estructural A-36 50 x 50 x 2mm, la utilización de los perfiles de alas iguales de 2 x 2 x $3/16$ “, con la utilización de planchas de acero de 5 y 10 mm, el proceso de construcción lo realizó un Técnico Mecánico Industrial en base a los diseños que se le entregó para la construcción de la misma.



Fig. 70 Banco de pruebas luego del proceso de construcción

La imagen anterior muestra el banco de pruebas luego del proceso de construcción, la cantidad de materiales adquiridos para la construcción del mismo son los siguientes:

- 17 vigas de acero estructural A-36 50 x 50 x 2 mm de 6m de longitud.
- 3 perfiles de alas iguales A-36 2 x 2 x $3/16$ ” de 6 m de longitud.
- 2 planchas de acero de 60 x 60 mm de 5 mm y 10 mm de espesor.
- 1 eje 1035 de 1” de diámetro de 41 mm de largo.
- 1 eje 1035 de 1 ½” de diámetro de 61 mm de largo.
- 2 chumaceras NTN P208.
- 1 acople tipo araña Lovejoy L110.
- 2 kg de electrodo 7018

Estos son los materiales que se adquirieron para la construcción del banco. Por otra parte como se estableció realizamos la adquisición de los elementos eléctricos como son:

- Motor Siemens de 2 Hp
- 1 variador de frecuencia Siemens de 3 Hp de la serie SINAMICS G110

Y aparte de estos elementos que se han adquirido se realizó la adquisición de un reductor el cual es él:

Marca: WINSMITH

Reducción: 7,5: 1

Luego que se terminó el proceso de construcción se realizó el montaje de los elementos en el banco de pruebas.



Fig. 71 Imagen del montaje del motor eléctrico, reductor, acople tipo araña y las chumaceras con el eje.

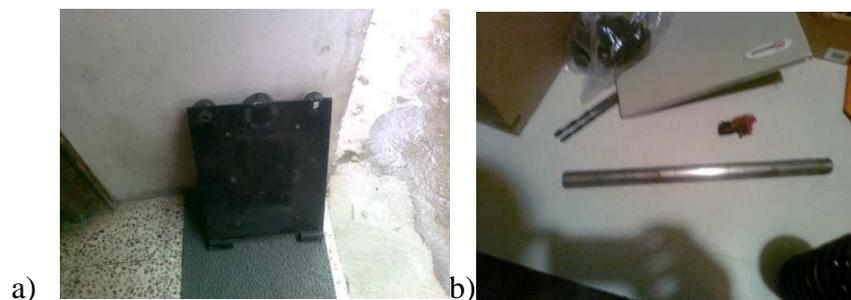


Fig. 72 Imágenes de la Plancha para la mesa de soporte y el eje pasador.

La forma de la mesa de soporte construida a base de una plancha, también se puede apreciar el eje pasador en la imagen contigua, se utilizó cuatro bujes los cuales están soldados en la base de sujeción y en la plancha, estos bujes fueron contruidos en un torno.



Fig. 73 Imagen del banco de pruebas finalizada la construcción y acoplados el resto de implementos.

Ya con la colocación de todos los elementos se culminó la etapa de construcción y de montaje de los elementos para el funcionamiento del banco de pruebas lo que falta es la instalación del sistema eléctrico a lo que se refiere al variador de frecuencia.

3.12 INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO.

Ya que todos los implementos se han colocado en el banco de pruebas lo que nos falta es la puesta en funcionamiento del variador de frecuencia, como se ha definido a lo largo de instancias principales el variador de frecuencia es un elementos que permite realizar la variación de velocidad de un motor trifásico de corriente alterna por medio de una serie de procedimientos eléctricos-electrónicos por lo que se necesita es una conexión eléctrica entre las líneas de voltaje y el motor trifásico.

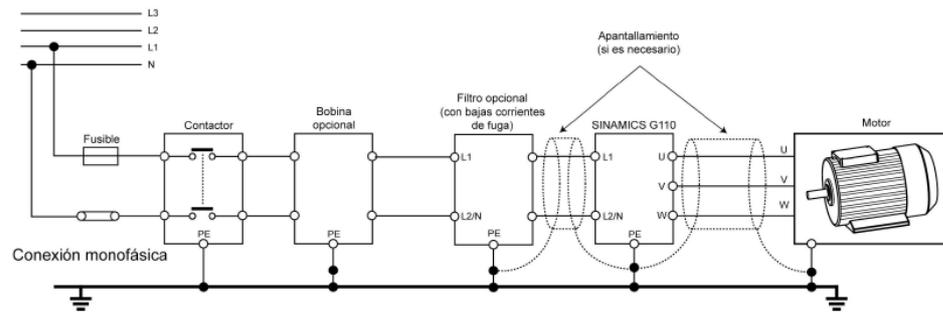


Fig. 74 Esquema básico de conexión entre el variador de frecuencia y el motor.

(Fuente de la imagen <http://support.automation.siemens.com>)

Esta forma de conexión es la que recomienda el fabricante del variador de frecuencia tomando en cuenta que la bobina y el filtro son elementos opcionales, en la imagen podemos ver que la conexión del variador se lo puede realizar conectando una segunda línea de voltaje o la de neutro, para las realizar la instalación del variador de frecuencia a este se le colocó en una caja eléctrica (tablero pesado) con la utilización de algunos otros elementos. Antes de continuar cabe recalcar que el variador de frecuencia nos ofrece varias alternativas de control como son las de funcionamiento por medio de pulsantes y perillas de control externos.

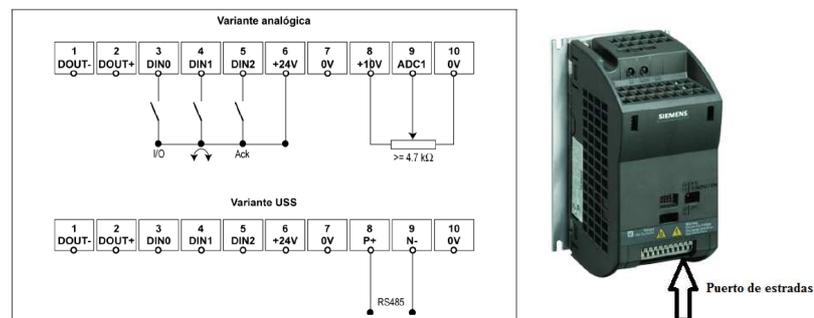


Fig. 75 Variantes de funcionamiento del variador de frecuencia. (Fuente de la imagen

<http://support.automation.siemens.com>)

Estas variantes que se presentan son para poder controlar el funcionamiento del variador desde puestos remotos utilizando unas entradas que posee el variador de frecuencia, estos puertos entregan voltaje y un puerto de referencia como podemos apreciar en la gráfica anterior. Para nuestro caso utilizaremos la variante analógica para poner en funcionamiento el variador de frecuencia, por medio de esta variante se puede controlar por medio de pulsantes y un potenciómetro la puesta en marcha

del variador, la parada del variador y la variación de la velocidad por medio del potenciómetro, el fabricante recomienda la utilización de un potenciómetro de $\geq 4,7$ k Ω , para que pueda arrancar el motor debemos programar el mismo en base a las características del motor los cuales se las encuentra en la placa del mismo los parámetros que se necesitan para programar el motor son los siguientes:

- Frecuencia de funcionamiento
- Voltaje de funcionamiento
- Potencia del motor
- Corriente de funcionamiento con el voltaje
- Factor de potencia
- Revoluciones de funcionamiento



Fig. 76 Motor eléctrico que se utilizará en el banco de pruebas

En la imagen podemos ver al motor que utilizaremos y la placa que posee los datos los cuales son los siguientes:

- Frecuencia de funcionamiento 60 Hz
- Voltaje de funcionamiento 220 v
- Potencia 2 Hp
- Corriente de funcionamiento a 220 v es de 7 A
- Factor de potencia $\cos \phi$ 0,80
- Revoluciones de funcionamiento 1700 rpm

Con estos valores se procede a programar el variador de frecuencia en el BOP (Basic Operator Panel), el BOP es un panel de teclas en donde se puede controlar el variador de frecuencia y la de realizar la programación del mismo para su funcionamiento.



Fig. 77 Imagen del BOP de control del variador de frecuencia. (Fuente de la imagen <http://support.automation.siemens.com>)

Este panel de teclas nos permite realizar la programación del variador de frecuencia, para realizar la programación del variador de frecuencia el fabricante nos entrega los códigos de programación en donde se detalla cada uno de los parámetros a programar para realizar la programación del variador de frecuencia se utiliza las tecla P y los cursores que señalan hacia arriba y abajo para la selección del programa establecido. En el manual de puesta en marcha del variador de frecuencia nos indica una serie de pasos a seguirse para la programación del mismo y los programas de estos parámetros son los ponemos a continuación, pasos para la puesta en servicio rápida:

P 0010 comenzar la puesta en servicio rápido

0 = preparado

1 = pesta en servicio rapido

30 = ajustes de fábrica

P 0100 funcionamiento para Europa/Norteamérica

0 = potencia en Kw; f por defecto en 50 Hz

1 = potencia en Hp; f por defecto en 60 Hz

2 = potencia en Kw; f por defecto en 60 Hz

P 0304 tensión nominal del motor

Rango de ajuste de 10 v a 2000 v

P 0305 tensión nominal del motor

Rango de ajuste 0-2 x la corriente nominal del convertidor (A)

P 0307 potencia nominal del motor

Rango de ajuste de 0,16 Hp a 4,02 Hp (valor en Hp si P 0100 = 1)}

P 0310 frecuencia nominal del motor

Rango de ajuste de 12 Hz a 650 Hz

P 0311 velocidad nominal del motor

Rango de ajuste de 0 a 40000 rpm

P 0700 selección de fuente de comandos (marcha/paro/inversión de giro)

1 = BOP

2 = borners/entradas digitales

5 = USS (solo variante USS)

En este programa por Default se encuentra P 0700 = 2 (condiciones de fábrica)

P 1000 selección de la consigna de frecuencia

1 = consigna MOP (potenciómetro motorizado)

2 = consigna analógica (solo variante analógica)

3 = frecuencia fija

4 = USS (solo variante USS)

En este programa por Default se encuentra P 1000 = 2 (condiciones de fábrica)

P 1080 frecuencia mínima del motor

Rango de ajuste de 0 a 650 Hz

P 1082 frecuencia máxima del motor

Rango de ajuste de 0 a 650 Hz

P 1120 tiempo de aceleración

Rango de ajuste de 0 s a 650 s

P 1121 tiempo de deceleración

Rango de ajuste de 0 s a 650 s

P 3900 finalizar puesta en servicio rápida

0 = sin puesta en servicio rápida sin cálculo del motor ni ajuste de fábrica

1 = fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor y ajuste de fábrica

2 = fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor y ajuste de E/S

3 = fin puesta en servicio rápida con cálculo del motor pero sin ajuste de fábrica

En la finalización de puesta en marcha del variador de frecuencia recomienda el fabricante que el programa P 3900 = 1, hay que tomar en cuenta las recomendaciones de la puesta en marcha del variador de frecuencia que nos indica el fabricante, e incluso el fabricante recomienda que la programación y la puesta en marcha del variador de frecuencia lo realice personal calificado y que tenga conocimiento del funcionamiento de los variadores de frecuencia de la serie SINAMICS G110. Pero la en si estos son los pasos que se realizaron para poner en marcha un variador de frecuencia en los íconos que requiere los datos del motor se los coloca con los cursores ya que los mismos tenemos a partir de la placa de datos del mismo.

Para la utilización de las variantes analógicas adquirimos los siguientes implementos:

- 1 potenciómetro de 10 K Ω
- 2 pulsantes simples de 22 mm Camsco NA (normalmente abierto) y NC (normalmente cerrado)
- 1 relé de 11 pines Camsco de 110/220 v

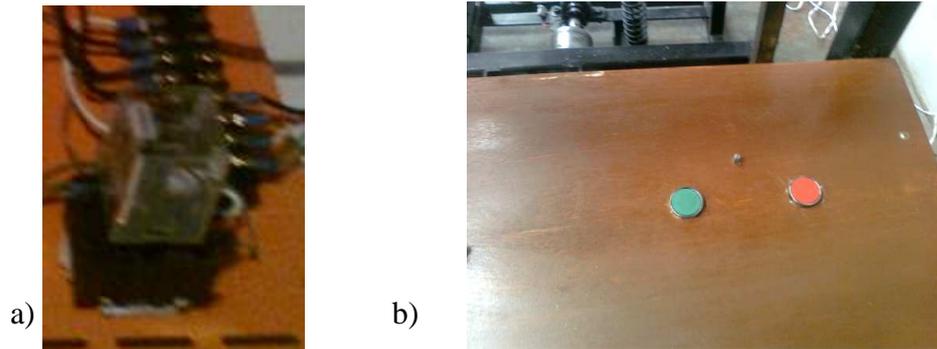


Fig. 78 Imagen del relé, los pulsantes y el potenciómetro

En las imágenes presentamos los pulsantes (b) con el potenciómetro colocado en el tablero del banco de pruebas y el relé (a) que se utilizará para el control de los pulsantes para comandar el ON/OFF que se encuentra en el puerto 3 (DIN 0) en el variador de frecuencia. Para realizar la conexión del variador de frecuencia a la red de corriente alterna utilizaremos un cable concéntrico 4 x 14 y para la conexión del motor con el variador utilizaremos un cable concéntrico 3 x 14 y otros materiales que ponemos a continuación:

- Caja eléctrica (tablero pesado) BEAUCOUP 400 x 300 x 200 mm.
- Riel de aluminio DIN 35 mm.
- Cable concéntrico 3 x 14 y 4 x 14
- Cinta espiral de 12 y 6 mm.
- Prensa estopa 22,3 mm para cable 14 mm.
- Toma sobrepuesta de 3 polos más tierra macho y hembra.
- Interruptor de 3 líneas

Estos materiales se utilizaron para la instalación del variador de frecuencia en un tablero para mayor seguridad y sobre todo para que no se pueda manipular con libertad.



Fig. 79 Imagen de la instalación del variador de frecuencia en el tablero

La conexión del variador de frecuencia a la red de corriente no es complicada ya que tenemos las líneas de entrada L1 y L2 no colocaremos neutro ya que este borne puede ser reemplazado por la segunda línea para que el variador de frecuencia trabaje con 220 v, en la imagen que presentamos vemos la colocación del variador en la plataforma base con el relé de 11 pines el cual servirá para la conexión de los pulsantes y la riel DIN de 35 mm en donde nos servirá de base de conexión, la utilización del cable concéntrico 4 x 14 es para realizar la conexión con la toma sobrepuesta de tres polos más tierra, lo que se hace referencia a tres polos más tierra es que tiene los polos para conectar las líneas 1 y 2, la línea Neutro y la tierra.



Fig. 80 Tomas sobrepuestas de tres polos más tierra

Esta toma se conectará directamente a la que se encuentre en la pared y dotará de corriente alterna al tablero en donde se encuentra el variador de frecuencia en la imagen presentamos las tomas de tres polos macho y hembra las cuales dotan de

corriente alterna al banco de pruebas. Los colores de los cables nos indican que líneas está tomando los cuales son los siguientes:

- Cable de color rojo y negro líneas 1 y 2 respectivamente
- Cable de color blanco línea neutral
- Cable de color verde línea tierra

La utilización del cable concéntrico 3 x 14 se utilizará en la conexión del motor con las salidas desde el variador al mismo como se ha estado citando en partes anteriores la capacidad funcional del variador de frecuencia puede generar la línea trifásica que necesita el motor para su funcionamiento.



Fig. 81 Imagen de la caja eléctrica con el variador de frecuencia

Los diagramas de instalación del variador de frecuencia los podemos apreciar en el Apéndice B, en la imagen que presentamos anteriormente podemos ver la caja eléctrica con todas las conexiones eléctricas del variador de frecuencia, el interruptor que se puede apreciar en la parte superior de la caja y la conexión de los pulsantes ya terminadas listas para probarse, la conexión del motor se lo realizó con el cable concéntrico 3 x 14 como ya hemos mencionado tomando las salidas hacia el mismo desde el motor, la forma de conexión es la siguiente:

- Cable de color rojo desde la terminal V del variador a la terminal V1 del motor.

- Cable de color negro desde la terminal W del variador a la terminal W1 del motor.
- Cable de color blanco desde la terminal U del variador a la terminal U1 del motor.



Fig. 82 Diagramas de conexión del motor

Cabe recalcar que el motor puede funcionar a dos tipos de voltaje que son de 220 y 440 v de corriente alterna por lo que tiene dos formas de conexión a lo que el fabricante lo llama conexión de alta potencia (440 v) y el de baja potencia (220 v) para nuestro caso utilizamos la conexión de baja potencia, en la imagen anterior podemos ver las conexiones mencionadas las cuales las podemos encontrar en la tapa de protección del motor.



Fig. 83 Conexión de los cables del motor eléctrico desde el variador de frecuencia.

La conexión de tierra en todo el sistema es importante ya que tenemos que referenciar todo el sistema para evitar diferencias de potencial en la imagen anterior

podemos ver la que se han conectado las líneas que salen desde el variador y se conectan en el motor eléctrico, luego de la instalación de la parte eléctrica el banco de pruebas el mismo se encuentra listo para realizar pruebas de funcionamiento. Se ha mencionado que se utilizará el motor de 2 Hp el cual se han colocado muelles de compensación de carga, se realizarán pruebas de funcionamiento con menor carga de la que se ha calculado para verificar si el banco de pruebas está funcionando sin ningún problema.

3.13 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

El objetivo principal del banco es la de demostrar el funcionamiento del sistema de suspensión semi-activa la cual se ha escogido y ha sido la base de construcción del banco de pruebas y de la selección de los elementos implicados en el funcionamiento del mismo, la adquisición de datos consta de un conjunto de elementos electrónicos que nos permitirá tomar las señales de vibración de la suspensión para luego visualizarlas y analizar su comportamiento, cabe recalcar que el objetivo de este trabajo es la de utilizar la plataforma del LabVIEW para realizar la adquisición y presentación de datos al operario del banco, la presentación de los datos debe de ser de tal forma que el operario sepa interpretar los datos claramente, el desarrollo de este punto se lo realizará en el próximo capítulo.

REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

CAPITULO 4



CAPITULO 4

REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL
SOFTWARE LabVIEW

4.0 INTRODUCCION

La finalidad de la adquisición de datos es medir un fenómeno eléctrico y físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. La adquisición de datos basada en PC utiliza una combinación de hardware modular, software de aplicación y una PC para realizar medidas. Mientras cada sistema de adquisición de datos se define por sus requerimientos de aplicación, cada sistema comparte una meta en común de adquirir, analizar y presentar información. Los sistemas de adquisición de datos incorporan señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicación.

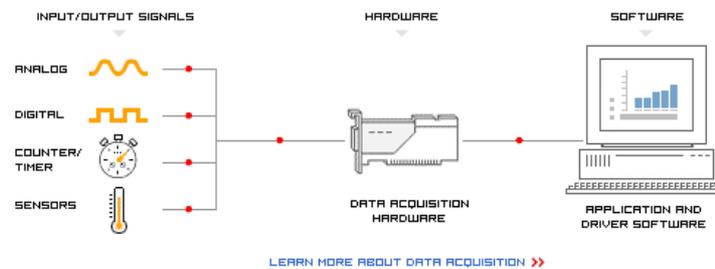


Fig. 1 diagrama del proceso de adquisición de datos. (Fuente de la imagen www.ni.com)

En la imagen anterior podemos apreciar la forma que se realiza la adquisición de datos para poder mostrar las señales en un computador. A parte de visualizar los datos en un computador, la adquisición de datos también nos permite, en base a los mismos, realizar el control hacia otros elementos que se requiera para que los algún procedimiento o trabajo. El propósito de este capítulo en este proyecto de tesis es la de realizar un software con el ambiente del LabVIEW para mostrar las gráficas generadas por el banco didáctico de estudio de la suspensión que estamos realizando y con el motivo de realizar el control de funcionamiento del mismo desde una pantalla inicial, el sentido de mostrar las gráficas en un computador describe la única manera de observar la forma de trabajo de este sistema de suspensión en cada uno de sus estados de funcionamiento y poder realizar el análisis según el comportamiento del vehículo en distintos tipos de calzadas. Para poder visualizar las gráficas en el computador se tiene que realizar una serie de

pasos antes de lograr este cometido, en primera instancia se debe realizar un hardware en donde se necesita de: un sensor, un circuito electrónico para poder tomar las señales y un dispositivo (DAQ) que nos permita algún tipo de comunicación con el computador para transmitir las señales hacia la pantalla del mismo. Desde este ambiente no solo recibiremos datos sino que podemos controlar otro tipo de dispositivos. Lo antes mencionado será desarrollado a lo largo de este capítulo con el fin de que se pueda entender los requerimientos necesarios para realizar el programa de visualización de datos en el computador.

4.1 ANALISIS PREVIO A LA ADQUISICION DE DATOS

Para el desarrollo de este capítulo comenzaremos definiendo ciertos conceptos que ayudaran el entendimiento de los procesos realizados. En la actualidad ya no es nada raro la utilización del LabVIEW ya que este programa es una herramienta que permite realizar muchos sistemas de control y visualización de instancias requeridas por empresas y educacionales.

¿Qué es el LabVIEW? Es una herramienta, de National Instruments, de programación gráfica para la construcción de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabVIEW proporciona la capacidad de crear rápidamente una interfaz que permite al usuario la interacción con el sistema. Este tipo de programación virtual tiene un sinnúmero de librerías con herramientas para hacer cualquier tipo de control o adquisición que el usuario lo necesite.



Fig. 2 Logotipo de LABVIEW (Fuente de la imagen www.ni.com)

¿Qué es la programación G? Es el corazón de LabVIEW, y difiere de otros lenguajes de programación como C o Basic, en que éstos están basados en texto, mientras que G es una programación gráfica. Los programas en G, o VIs (“Virtual Instruments”) constan de una interfaz interactiva de usuario y un diagrama de flujo de datos que hace las funciones de código fuente.

“De forma más específica, la programación gráfica LABVIEW se estructura como sigue:

- La interfaz interactiva de usuario de un VI se llama Panel Frontal, debido a que simula el panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos se introducen utilizando el ratón y el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla del ordenador.

- El VI recibe instrucciones de un diagrama de bloques que se construye en G. El diagrama de bloques es la solución gráfica a un determinado problema de programación. Además, el diagrama de bloques es el código fuente del programa o VI.

- Los VIs son jerárquicos y modulares. Pueden utilizarse como programas de alto nivel o como subprogramas de otros programas o subprogramas. Cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denominan subVI. El icono y los conectores de un VI funcionan como una lista de parámetros gráficos de forma que otros VIs puedan pasar datos a un determinado subVI.”¹

LabVIEW tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con dispositivos de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes). Se utiliza con frecuencia en sistemas de monitorización de procesos y aplicaciones de control. Para realizar la adquisición de datos o del efecto que se requiere controlar, graficar necesitamos que este fenómeno que se está creando o del que se encuentra tomando las mediciones sea transmitido hacia la computadora por lo que necesitamos realizar una comunicación con el computador para que se pueda ver los datos requeridos. Existen varias formas de comunicación las cuales

¹ Texto tomado del tutorial del LABVIEW www.ni.com

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

se pueden realizar para la transmisión de datos y para la utilización del LabVIEW se puede utilizar la comunicación por medio del puerto serial del computador utilizando el MAX 232 o algún dispositivo de trasmisión binaria hacia el puerto serial o la otra alternativa es la utilización de las tarjetas de adquisición de datos de la NationalInstrument que es el proveedor del programa de LabVIEW las cuales son las DAC.LasDAC son tarjetas electrónicas de adquisición de datos en donde la conexión con el computador es por medio del puerto USB.



Fig. 3 Tarjeta de adquisición de datos. (NI)

En la imagen anterior podemos apreciar una tarjeta de adquisición de datos (DAC) de la National Instruments, para la adquisición de datos como se ha mencionado anteriormente se la puede realizar por el puerto serial o por el puerto USB con la utilización de la tarjeta de la National Instruments. Parala utilización de un sistema de adquisición de datos por medio de un puerto serial, se necesita cierto tipo de implementos y la realización de un hardware para el mismo.

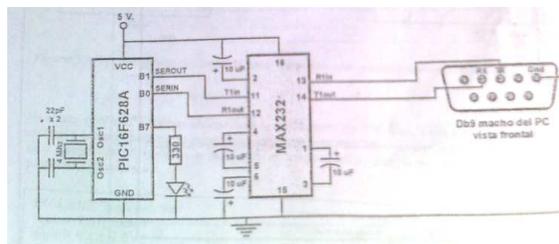


Fig. 4 diagrama de instalación para la conexión serial (Fuente de la imagenMicrocontroladores PIC programación en BASIC

En la imagen se puede apreciar un diagrama para la transmisión de datos por medio del puerto serial con la utilización de un microcontrolador (PIC) y la utilización de un integrado para transmitir datos que es el MAX 232 como se ha mencionado en partes anteriores.

El sensor.- Su función es medir magnitudes físicas y convertirlas en diferentes magnitudes “en la mayoría de los casos eléctricas”. Estas magnitudes eléctricas frecuentemente tienen que ser preparadas y posteriormente procesadas en circuitos subsecuentes. Los sensores son por lo tanto los primeros miembros en las cadenas de medición, los cuales, debido al creciente grado de automatización, se están volviendo cada vez más importantes.

Para el desarrollo de este capítulo de nuestro tema de tesis será importante determinar el tipo de sensor a utilizarse, es decir, definir que necesitamos medir o cuantificar. En este caso de acuerdo a lo que se ha establecido en capítulos anteriores son las oscilaciones que se generan en el sistema de suspensión el momento que se genera un movimiento vertical exactamente.

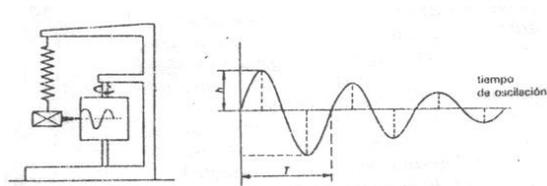


Fig. 5 forma del tipo de magnitud a medir (Fuente de la imagen BRUÑO EDEBE, Tecnología de la Automoción 2.3)

En la imagen se puede apreciar la forma de magnitud que necesitas medir o necesitamos adquirir para la representación visual en la pantalla del computador.

4.2 DETERMINACION DEL SENSOR O TRANSDUCTOR A UTILIZARSE

Uno de los pasos para determinar el tipo de sensor es por medio de la forma de medición, es decir bajo que parámetros debe trabajar el tipo de sensor que se utilizará tomando en cuenta los fenómenos físicos que son los factores que afectan directamente al funcionamiento del sensor. A nuestro criterio las más importantes son las condiciones ambientales que pueden realizar alteraciones en el comportamiento del sensor tales como: la temperatura, humedad, ruido acústico e incluso de factores electromagnéticos como son los llamados ruidos eléctricos. Los parámetros mencionados anteriormente deben de tomarse en cuenta ya que las mediciones que se tomarían estarían afectadas de alguna forma con la incidencia de algunos de estos fenómenos físicos. Además debemos tomar en cuenta las características propias del sensor como son: la sensibilidad, su resolución y algo importante la linealidad.

Sensibilidad.- Es la relación entre la respuesta eléctrica y la entrada o excitación mecánica. En sensores activos la sensibilidad se mide en voltios por unidad del parámetro físico a medir. La sensibilidad, por lo general, depende de la frecuencia, de la amplitud, de la temperatura, etc. Como consecuencia, es necesario definir las condiciones en que se define la medida real del sensor.

Resolución.- Es el menor cambio del fenómeno físico a medir que produce una señal detectable. Puede quedar definida por el propio transductor, o por el resto de la cadena de medidas. Ruido eléctrico, características constructivas, fricción etc., son causas que determinan la resolución de una medida.

Linealidad.- Un transductor se dice lineal cuando existe proporcionalidad entre el parámetro medido y la señal eléctrica proporcionada por el transductor. Error de linealidad es la diferencia entre la tensión eléctrica obtenida y la que correspondería a la sensibilidad nominal del transductor.

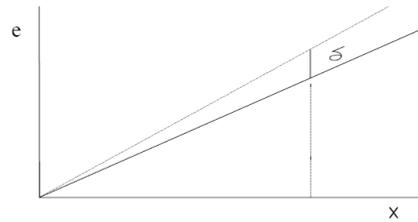


Fig. 5 grafica de error de linealidad

A veces este error se expresa en % según la expresión:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{e} \times 100$$

Siendo:

ε = error en %

δ = diferencia

e = error relativo

Los transductores se comportan linealmente (dentro de un error admisible) en un rango de amplitudes del parámetro a medir el cual en nuestro caso son las oscilaciones generadas por el movimiento del sistema de suspensión. Para la elección del sensor que utilizaremos debemos partir desde una clasificación general. Los sensores pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios una de estas formas pueden ser:

- Sensores PASIVOS
- Sensores ACTIVOS.

Los **sensores pasivos** requieren energía auxiliar para su activación y poder realizar las mediciones, mientras que los **sensores activos** pueden hacerlo sin ella. Un método más ventajoso de clasificación de los sensores es de acuerdo a la magnitud de influencia física utilizada, diferentes tipos de sensores están clasificados bajo cinco magnitudes de influencia importantes. Sin embargo, el diagrama solo representa un pequeño extracto de un rango mucho más amplio de sensores. La clasificación por medio de la influencia física que es aplicada hacia el sensor se encuentra distribuida de la siguiente forma:

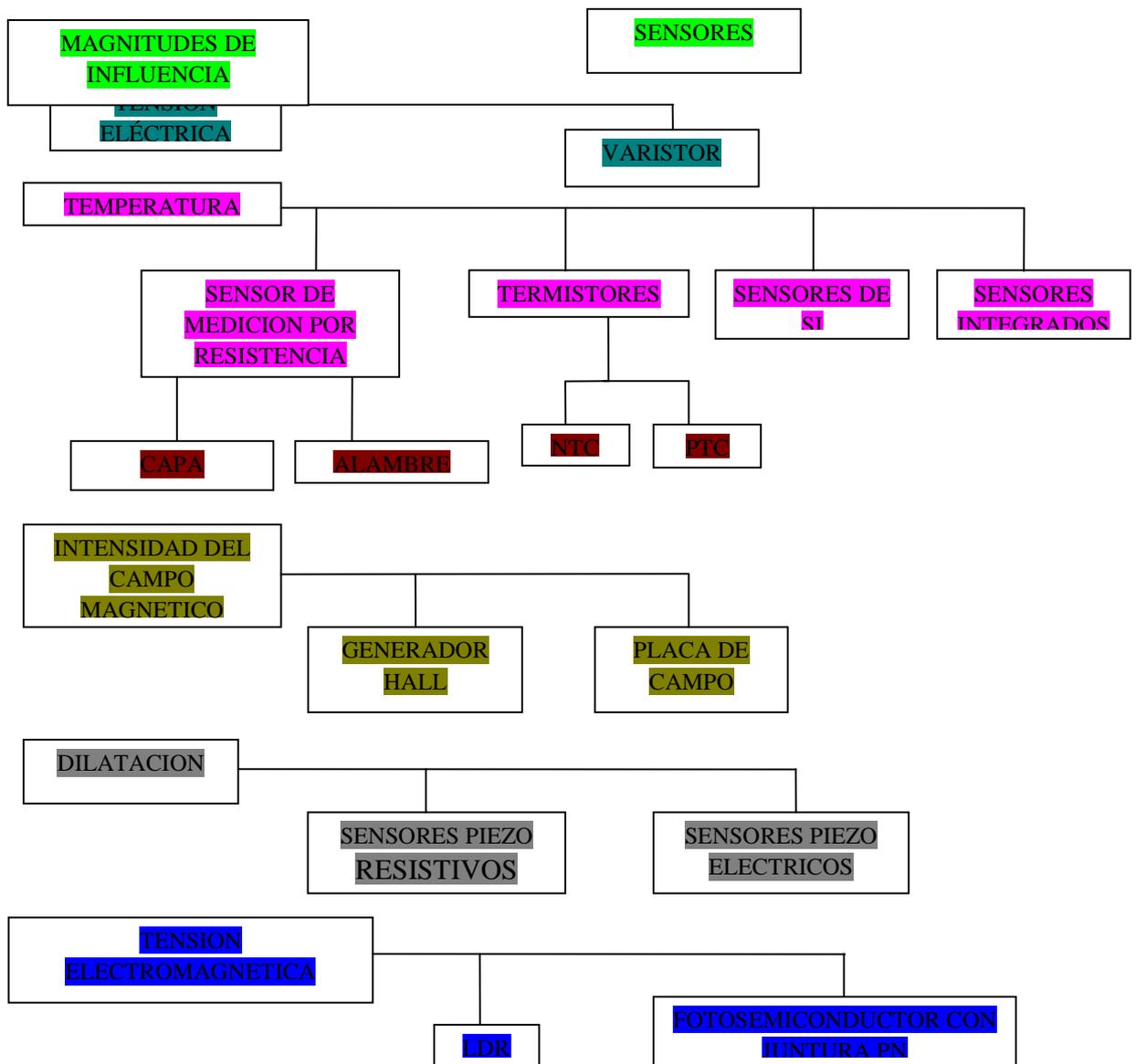


Tabla 4.1 clasificación de sensores (según la magnitud de influencia)

En la clasificación anterior se lo realiza por medio de la aplicación del criterio de magnitud de influencia sobre el sensor con lo que definiremos estos para tener un más amplio campo de elección del sensor apropiado en la mayoría de los sensores, la resistencia del material sensor es cambiada por el efecto físico concerniente. Así el varistor el cual frecuentemente es denominado también como VDR (Voltaje Dependent Resistor), varia su resistencia en función de la tensión aplicada. Contrariamente, los

sensores de medición por resistencia (termómetros) y los termistores varían su resistencia en función de la temperatura ambiental, el funcionamiento de las placas de campo y de los generadores Hall se basa en una ley electrodinámica elemental de acuerdo a la cual los electrones en movimiento son desviados por un campo magnético bajo ciertas condiciones. La fuerza que aparece se la denomina fuerza de Lorentz. Este efecto se aprovecha en las placas de campo como una variación de resistencia. Cuanto más fuerte es el campo magnético, más baja se vuelve la resistencia de la placa de campo. Como consecuencia de la desviación de los electrones en movimiento por la fuerza de Lorentz. Las placas de campo y los generadores Hall son utilizados especialmente para mediciones de campos magnéticos, pero también como sensores dependientes del campo magnético en la técnica de control. En los sensores piezo-resistivos aparece una variación de la resistencia del material sensor como resultado de la extensión de una placa de Silicio (Si) bajo esfuerzo de compresión o de tracción. Por otra parte, en los sensores piezo-eléctricos se genera una tensión eléctrica entre las dos superficies opuestas del material sensor por medio de una fuerza aplicada externamente. Los sensores sensibles a la luz pueden también ser clasificados como pasivos o activos. En los LDRs (Light dependent Resistor), la resistencia varía en función de la intensidad de la luz. Por lo tanto, estos son denominados como fotorresistencias. En los fotoconductores con una juntura PN se genera una corriente eléctrica a causa de la luz incidente. Por lo tanto la radiación electromagnética es convertida directamente en energía eléctrica.

En base a la breve descripción descrita anteriormente podemos tener un criterio de selección mucho más amplio desde distintos frentes por lo que el tipo de sensor que se puede utilizar por magnitud física aplicada de tensión electromagnética ya que esta se puede aplicar por medio de una luz hacia los elementos que son comúnmente encontrados en el mercado local como es un LDR, un foto transistor, etc. Para generar la variación de su resistencia por la aplicación de una luz se puede aplicar un LED de alta intensidad con los cuales se puede fabricar uno o en una última opción se puede realizar la adquisición de un sensor propiamente fabricado. La opción por fabricar un sensor por medio de un LDR o un foto transistor y un LED de alta intensidad encapsulados es una

primera opción ya que hay que tomar en cuenta algunos de los factores ambientales que alteran la señal adquirida.

4.2.1 CONSTRUCCION DEL SENSOR Y ANALISIS DE RESULTADOS CON LA UTILIZACION DE UN LDR.

La magnitud que se requiere medir es el desplazamiento vertical que describe el conjunto muelle-amortiguador, para esto inicialmente realizamos un elemento que cense este movimiento, con la utilización de un LDR y un LED de alta intensidad. Utilizaremos leds de varios colores con el afán de realizar pruebas de comportamiento. Como un LDR (fotocélula o fotorresistor) es una resistencia sensible a la incidencia de luz, es decir, la resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente.

El LDR se fabrica con materiales de estructura cristalina, y utiliza sus propiedades fotoconductoras. Los cristales utilizados más comunes son: sulfuro de cadmio y seleniuro de cadmio. Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico, si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por la elasticidad del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta (y su hueco asociado) conduce electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia.

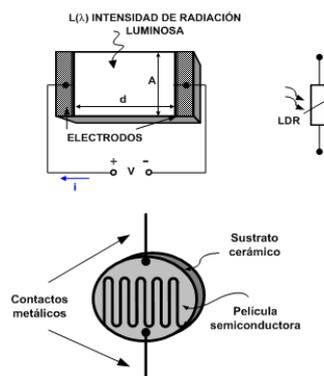


Fig. 6 esquemas de una LDR (Fuente de la imagen www.wikipedia.com)

Para impedir que la luz exterior altere el funcionamiento, la LDR se coloca en un cilindro de esta manera evitamos que nos entregue valores erróneos, para generar la variación de voltaje por la incidencia o no de luz utilizamos un LED de alta intensidad a la cual realizamos un movimiento horizontal, acercando o alejando del cilindro desde una cierta distancia la cual la hemos tomado de 13 cm, el motivo por el que se realiza esta prueba es con la finalidad de que más lejos o más cercano se encuentre el LED de la LDR esta varia su resistencia y por ende un voltaje de salida que varíe según la distancia, lo que deseamos obtener es la lineal para poder utilizar el sensor para la toma de señales.



Fig. 7 análisis de funcionamiento (construcción del sensor)

En la imagen anterior observamos una cinta métrica y el cilindro de 13 cm de largo, al cual le introduciremos la LDR y el LED de alta intensidad, el LED estará dentro de un eje el cual generará un movimiento horizontal variando su distancia y la cantidad de luz que incide en la LDR. Para generar un voltaje variable de salida y de señal se colocó un partidor de tensión, el partidor de tensión o divisor de voltaje es simplemente la conexión de unas resistencias en serie, en la división de tensión entre las resistencias que se encuentran conectadas nos da una señal de salida la cual mediremos pero en nuestro caso el voltaje de referencia será variable debido a que la LDR varía su voltaje según la cantidad de luz que incide en el mismo, para generar el partidor de tensión realizamos la siguiente conexión:

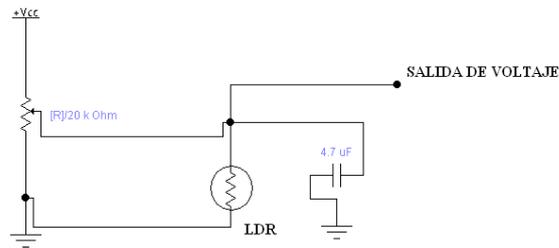


Fig. 8 Conexión del partidor de tensión.

Los materiales utilizados para realizar las pruebas son los siguientes:

- 1 potenciómetro de 20 K Ω
- 1 potenciómetro de precisión de 2 K Ω
- 1 LDR (distintos colores como son: azul, naranja y amarillo)
- 1 fuente de 12 v
- 1 regulador de voltaje 7805 (5v)
- 1 interruptor
- 1 baceta de pruebas
- 1 condensador de 4.7 μ f

Se utilizó un potenciómetro de precisión para calibrar el valor del voltaje de referencia. En primera instancia utilizamos un potenciómetro normal de 20 K Ω pero teníamos dificultades de calibración y por movimientos involuntarios se podía mover la perilla por lo que se optó por el de precisión ya que la calibración es fija y no existía la variación de voltaje antes mencionada. El voltaje de referencia utilizado es de 2.50 v.



Fig. 9 Calibración del voltaje de referencia

En la imagen anterior se puede apreciar la calibración del sistema con la ayuda de un multímetro. Para las pruebas realizaremos con tres tipos de colores de LED las cuales son de colores amarillo, azul y naranja. Las pruebas se realiza con el cambio de resistencias las cuales nos dará una mayor o menor intensidad de luz en el LED y con el cambio de estas podemos obtener distintos tipos de gráficos, los valores de resistencias tomados son de:

1 K Ω de ½ W, de 330 Ω de ½ W y de 220 Ω de ½ W, la forma de conexión la detallamos a continuación:

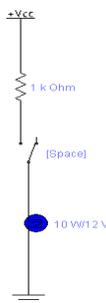


Fig. 10 Diagrama de conexión del LED

Luego de instalar todos los elementos en la baceta de pruebas procedemos a realizar las pruebas y la toma de datos con una distancia de 13 cm desde el LDR hasta el punto cero en donde comienza el movimiento con el LED encendido las mediciones se realizaran cada 0.5 cm.

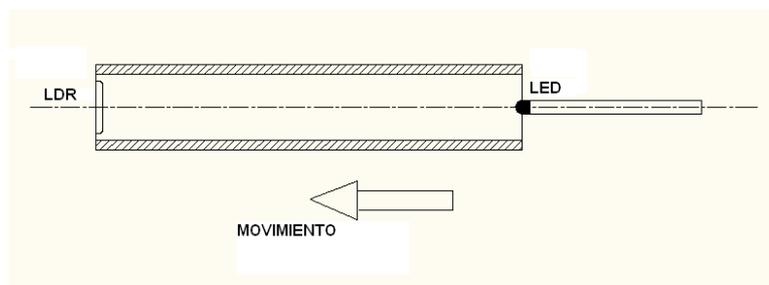


Fig. 11 Pruebas con los LEDS

Este procedimiento de prueba es sencillo ya que el eje hace su recorrido cada 0.5 cm hasta llegar a los 13 cm que tomamos como carrera del mismo, se puede hacer que se recorra una distancia mayor pero podría tender a perder señal el LDR de la luz que incide el LED con lo que se perderían los datos que aspiramos graficar. Con la variación de distancia del LED que tendería alejarse y acercarse al LDR existirá una variación de voltaje de referencia la cual es nuestra señal, el punto de toma es el voltaje de referencia con lo cual podremos tener una visión más clara de cuan lineal tendería a ser el sistema.

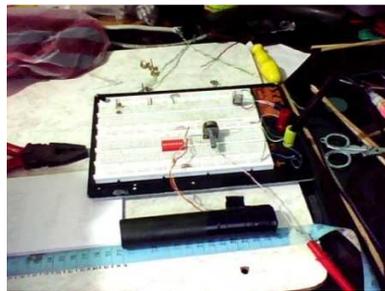


Fig. 12 Toma de señal (voltaje de referencia)

En la imagen anterior podemos apreciar la toma de voltaje (voltaje de referencia) con un puntal del multímetro (puntal rojo), luego de colocar los puntales del multímetro en donde corresponden procedemos a encender el sistema y realizar la toma de datos, la forma que se realizó esta prueba es tomando el punto cero desde el momento que el LED se encuentra en la parte más alejada de la LDR y desde allí comienza a ingresar por el cilindro acercándose hacia la misma en donde se obtendrá los valores.

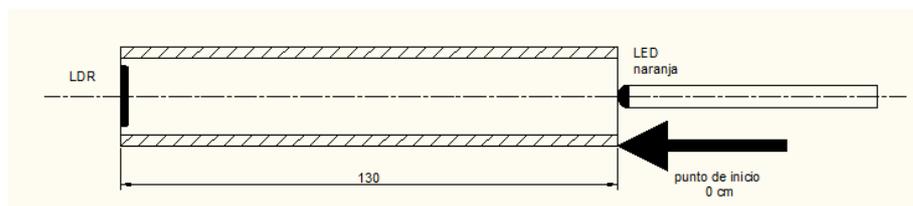


Fig. 13 diagrama del punto de inicio de pruebas del sistema.

Los valores tomados son los siguientes:

LUZ NARANJA.- Los valores de voltaje de referencia que se obtuvo luego de hacer las pruebas con la luz naranja son los siguientes:

cm	1kΩ (v)	330Ω (v)	220Ω (v)
0	2,41	2,25	2,05
0,5	2,4	2,28	2,07
1	2,39	2,3	2,08
1,5	2,38	2,3	2,08
2	2,38	2,28	2,06
2,5	2,36	2,27	2,05
3	2,36	2,25	2,04
3,5	2,34	2,25	2,03
4	2,33	2,23	2
4,5	2,33	2,19	1,96
5	2,29	2,16	1,92
5,5	2,27	2,15	1,89
6	2,26	2,17	1,9
6,5	2,28	2,13	1,88
7	2,28	2,13	1,86
7,5	2,26	2,08	1,85
8	2,2	2,04	1,82
8,5	2,22	1,98	1,78
9	2,2	2	1,76
9,5	2,18	1,96	1,74
10	2,16	1,94	1,72
10,5	2,13	1,91	1,68
11	2,11	1,86	1,65
11,5	2,05	1,81	1,6
12	1,99	1,79	1,51
12,5	1,93	1,65	1,35
13	1,74	1,6	1,3

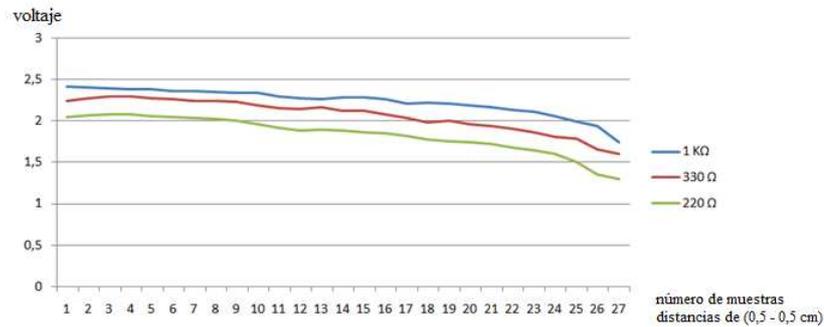


Fig. 14 gráficos de funcionamiento en parámetros de linealidad del sensor (luz naranja)

LUZ BLANCA.- Los valores de voltaje de referencia que se obtuvo luego de hacer las pruebas con la luz blanca son los siguientes:

cm	1K Ω (v)	330 Ω (v)	220 Ω (V)
0	1,06	1,24	0,89
0,5	1,04	1,21	0,86
1	1,02	1,17	0,83
1,5	0,99	1,14	0,82
2	0,96	1,12	0,8
2,5	0,93	1,1	0,78
3	0,92	1,07	0,77
3,5	0,88	1,06	0,75
4	0,84	1,01	0,73
4,5	0,82	0,98	0,72
5	0,79	0,95	0,7
5,5	0,75	0,92	0,68
6	0,73	0,89	0,66
6,5	0,7	0,86	0,64
7	0,67	0,84	0,63
7,5	0,64	0,8	0,61
8	0,62	0,78	0,61
8,5	0,61	0,77	0,58
9	0,6	0,75	0,57
9,5	0,59	0,73	0,56
10	0,58	0,72	0,56
10,5	0,58	0,7	0,56
11	0,61	0,73	0,59
11,5	0,63	0,77	0,61
12	0,68	0,8	0,63
12,5	0,68	0,75	0,59
13	0,61	0,78	0,61

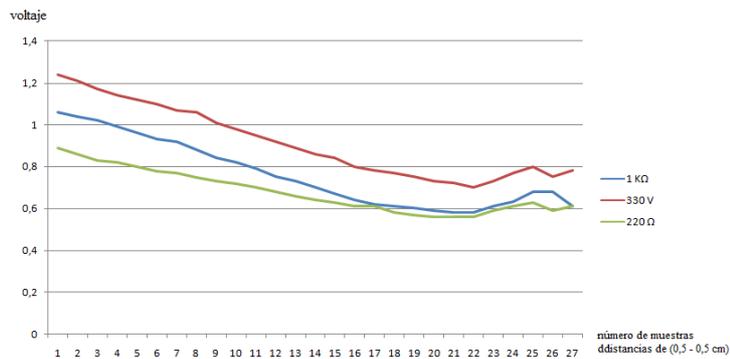


Fig. 15 gráficos de funcionamiento en parámetros de linealidad del sensor (luz blanca)

LUZ AZUL.- Los valores de voltaje de referencia que se obtuvo luego de hacer las pruebas con la luz azul son los siguientes:

cm	1 K Ω (v)	330 Ω (v)	220 Ω (v)
0	1,91	1,75	1,31
0,5	1,88	1,72	1,29
1	1,86	1,71	1,26
1,5	1,84	1,7	1,24
2	1,82	1,69	1,23
2,5	1,8	1,63	1,2
3	1,78	1,6	1,17
3,5	1,75	1,58	1,14
4	1,73	1,55	1,11
4,5	1,7	1,51	1,09
5	1,66	1,48	1,06
5,5	1,66	1,44	1,02
6	1,66	1,4	1
6,5	1,56	1,37	0,97
7	1,51	1,33	0,94
7,5	1,46	1,29	0,9
8	1,44	1,25	0,87
8,5	1,37	1,21	0,83
9	1,39	1,16	0,8
9,5	1,37	1,12	0,76
10	1,28	1,08	0,72
10,5	1,24	1,02	0,69
11	1,31	0,99	0,66
11,5	1,12	0,97	0,63
12	1,18	0,96	0,64
12,5	1,27	0,95	0,64
13	1,27	0,9	0,64



Fig. 16 gráficos de funcionamiento en parámetros de linealidad del sensor (luz azul)

Como se puede apreciar en la gráfica del LED que emite luz azul el comportamiento a lineal se tiene utilizando las resistencias de 330 y 220 Ω , los datos obtenidos de linealidad del elemento se tiene desde la iteración número seis en adelante que hace referencia desde los 2.5 cm en adelante, ahora lo que determinaremos es la eficiencia, esto se refiere a observar si existe a lo largo del uso variación de voltaje de salida por distintos factores y una de ellas puede darse por la temperatura emitida por la fuente de luz, los elementos pueden tender a calentarse y por ende a dar lecturas erróneas, por lo que realizaremos una prueba crucial la cual es la de dejarle encendido el LED un cierto tiempo para ver si la lectura no varía desde un punto fijo.



Fig. 17 prueba de fiabilidad del sensor.

Esta prueba como se menciono es para ver si los valores obtenidos no varían a lo largo de un cierto tiempo de utilización, por lo que dejaremos encendido el sistema por un lapso de dos horas a un punto medio de 7.5 cm en donde los valores de referencia con la resistencia de 330 Ω es de 1.29 v y con la de 220 Ω es de 0.9 v.



Fig. 18 prueba del sensor (fiabilidad del sensor)

Luego que ha transcurrido el tiempo establecido se puede notar el momento que se realiza la medición que existe una caída de voltaje 5 a 6 voltios en cada una de las resistencias predeterminadas, se pensó en un error por la utilización del multímetro, pero luego de realizar la medición con otro multímetro de las mismas características obtuvimos el mismo resultado con lo que sacamos como conclusión que este tipo de elementos no son útiles para la aplicación debido a que no cumple nuestros requerimientos.

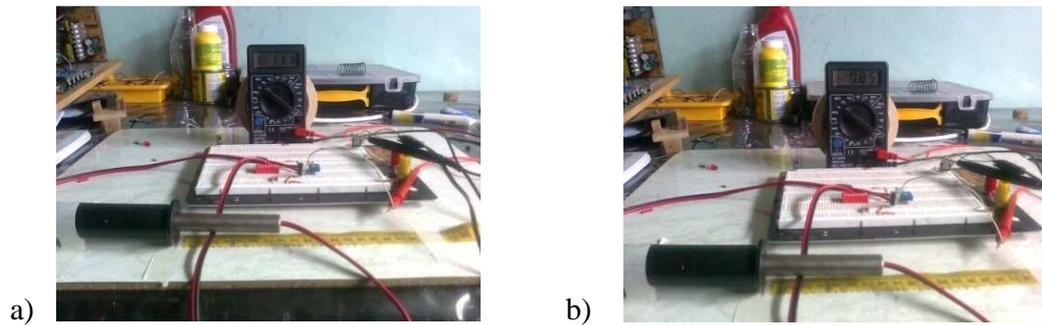


Fig. 19 resultados obtenidos después de un tiempo de uso

a) Con una resistencia de 330Ω

b) Con una resistencia de 220Ω

4.2.2 ANALISIS DE RESULTADOS.

Como se mencionó anteriormente se requiere un sensor que trabaje de forma lineal de acuerdo a los valores y graficas obtenidas en estas pruebas podemos observar que los mejores resultados se tiene cuando se utiliza el LED que emite luz azul, en el momento de la utilización del LED de otros colores vemos en las gráficas que son curvas con picos de voltaje. Po los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, descartamos la posibilidad de utilización de este tipo de sensor.

Como segunda opción decidimos utilizar un fototransistor, el cual aplica el mismo principio de incidencia de luz. Las pruebas a realizar son las mismas, utilizaremos un LED de alta intensidad como en pruebas anteriores resulto la más eficiente el de luz azul, por lo que utilizaremos directamente este color de LED.

4.2.3 CONSTRUCCION DEL SENSOR Y ANALISIS DE RESULTADOS CON UN FOTOTRANSISTOR.

Sellama fototransistor a un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando pares de portadores de

carga móviles en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de ganancia propio del transistor. Hay muy pocas aplicaciones con el uso de la fotorresistencia pero por otra parte el fototransistor presenta mejores características ya que presentan una respuesta al cambio de intensidad de luz mucho más rápida que la LDR.

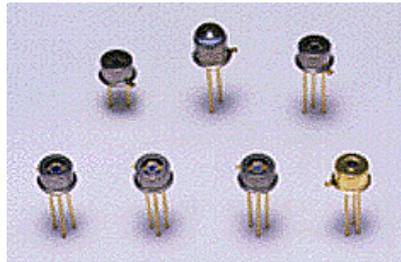


Fig. 20 fototransistores (Fuente de la imagen www.wikipedia.com)

La forma en la que sacaremos las gráficas para determinar si es lineal el sistema es la misma que utilizamos anteriormente, le pondremos a los implementos dentro de un cilindro tapado en donde no ingrese la luz del ambiente y procedemos realizar la variación de distancia por medio de un eje y variaremos la distancia en intervalos de 0.5 cm. Los resultados nos dirán si este es suficientemente eficiente para ser utilizado en nuestro sistema.

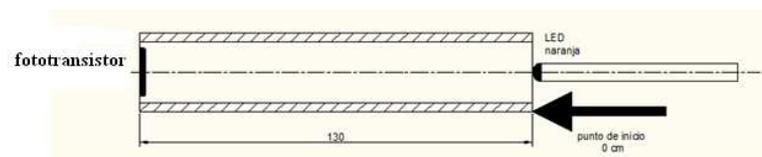


Fig. 21 principio de prueba

Para realizar la prueba utilizaremos el fototransistor L14F1 y la conexión es por medio de un partidor de tensión como se necesita la incidencia de una luz para que el transistor se vuelva conductor necesitamos un LED, como en el caso anterior utilizamos un partidor de tensión para obtener un voltaje de referencia o residual el cual nos servirá como señal de salida. Los materiales que utilizamos son los siguientes:

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

- 1 potenciómetro de precisión de 2 K Ω
- 1 fototransistor L14F1
- 1 LED de alta intensidad
- 1 condensador de 10 μ f de 22 v
- 1 resistencia de 330 Ω de ½ W
- 1 resistencia de 220 Ω de ½ W

La forma de conexión de los elementos es la siguiente:

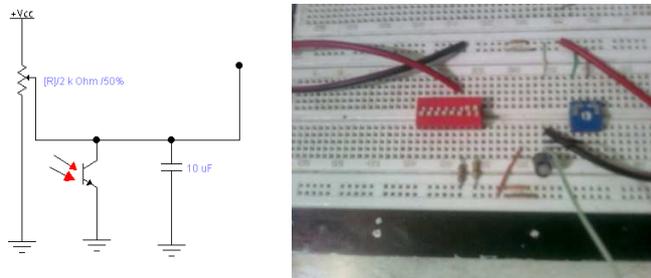


Fig. 22 conexiones de los componentes electrónicos a utilizarse.

En el grafico se detallala forma de conexión de las resistencias para el LED de alta intensidad por medio de un interruptor, la prueba lo realizamos con un voltaje de referencia de 2.5 v sin que tenga una luz de incidencia hacia el fototransistor y a la distancia establecida de 13 cm.



Fig. 23 calibraciones del valor de referencia inicial.

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

Para la calibración del punto inicial de referencia se procede a dar un valor a la resistencia por medio del potenciómetro de precisión, el eje posee en su parte superior unas marcas preestablecidas con distancias o intervalos de medición de 0,5 cm pero de igual manera se colocó una cinta con medidas para tener mayor exactitud. Luego de realizar las pruebas se obtuvo los siguientes resultados:

distancia (cm)	330 Ω (v)	220 Ω (v)
3	0,30	0,25
3,5	0,32	0,27
4	0,36	0,30
4,5	0,42	0,33
5	0,68	0,39
5,5	1,04	0,49
6	1,21	0,76
6,5	1,41	1
7	1,57	1,20
7,5	1,71	1,41
8	1,83	1,56
8,5	1,91	1,65
9	1,99	1,77
9,5	2,05	1,86
10	2,11	1,95
10,5	2,16	2,01
11	2,20	2,06
11,5	2,24	2,11
12	2,26	2,16
12,5	2,29	2,20
13	2,31	2,22

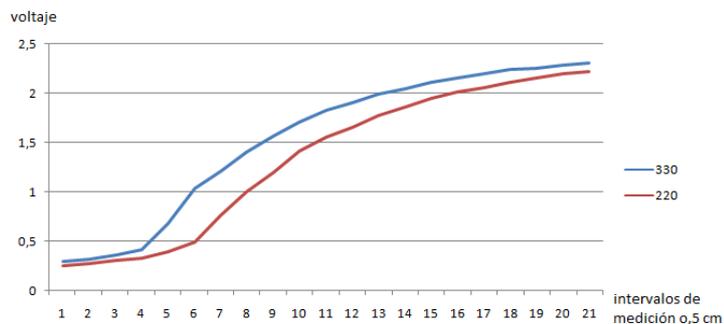


Fig. 24 curvas obtenidas por medio de pruebas de fototransistor.

4.2.4 ANALISIS DE RESULTADOS.

En este caso por motivos de construcción del tubo y sus tapas no se permitió llegar a una distancia de 0 cm pero se puede apreciar que las curvas obtenidas por las pruebas son bastantes estables y no se presentan muchas zonas de picos por lo que se puede utilizar este implemento en el banco de estudio. La de curva que se observa en la grafican se debe a que la corriente del colector depende de la cantidad de iluminación que incide directamente hacia el fototransistor y hay que recalcar que los valores obtenidos no es porque a la conexión del partidor de tensión se le dio mayor o menor valor al potenciómetro de precisión si no que se obtuvo variando la resistencia con la que se encontraba conectado el LED de alta intensidad esa es la razón por la que el mismo tenga mayor cantidad de luminosidad. Para ver si de igual manera estos elementos son fiables a lo largo del tiempo de uso, realizamos una prueba de tiempo como en el caso anterior, esta vez le dejaremos a una distancia de 8cm por dos horas y con valores de voltaje a esta distancia de 1,83 v con una resistencia de 330 Ω y 1,56 v para la resistencia de 220 Ω .

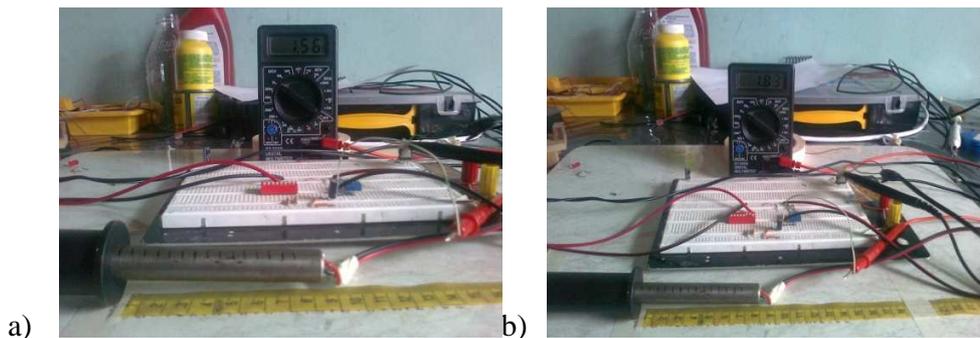


Fig. 25 prueba de fiabilidad del sistema de fototransistor

a) Valor con resistencia de 220 Ω

b) Valor con resistencia de 330 Ω

Como resultado se observa que los valores de voltaje no variaron. Por lo que este sería el elemento más factible a ser utilizado como sensor para captar las oscilaciones que

describe el conjunto muelle-amortiguador. Por otro lado tenemos un problema que al igual que la LDR el momento que a este elemento incida un poco de luz ambiente varía su valor de medición y como es un elemento mucho más sensible a la percepción de luz que la LDR la variación sería mucho más significativa que en la LDR. De esta manera y por los resultados obtenidos en los dos casos se realiza un nuevo planteamiento y observando la tabla de clasificación de los sensores tomamos la posibilidad de utilizar un sensor de medición previamente fabricado lo cual nos daría muchas más ventajas, se puede encontrar en el mercado y sobre todo ya es un implemento probado desde su casa fabricante. En cierta forma la desventaja sería el costo económico que representa. Una de las características del sensor que se decida adquirir aparte de las ventajas funcionales sería el rango de trabajo en el que va funcionar y la compatibilidad con el hardware externo a utilizar. Por medio de consultas e investigaciones con personas que están más involucrados en el campo de adquisición de datos y gráfica de señales se resuelve utilizar un sensor a base de un LED infrarrojo el cual presenta varias ventajas y tiene un costo asequible.

4.3 UTILIZACION DE UN SENSOR A BASE DE UN SISTEMA INFRARROJO

Los elementos a base de sistemas por medio de infrarrojos son muy utilizados en la actualidad un caso concreto y práctico y muy común en la actualidad es la utilización de los controles remotos, los controles remotos se utilizan para la activación y funcionamiento de varios elementos electrónicos de uso común como son las televisiones, equipos de estéreo, etc. Estos sistemas presentan grandes ventajas como las siguientes:

- No afecta su funcionamiento la luz ambiente
- No afecta su funcionamiento las condiciones climáticas (humedad, temperatura etc.)
- Es de fácil adquisición en el mercado

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

Las anteriores son una de las varias ventajas que podemos obtener de los sistemas a base de infrarrojos, en la búsqueda de este tipo de sensor de la gran gama que se puede encontrar en el mercado que varían de características funcionales como de valores económicos, encontramos un sensor construido por la casa SHARP al cual hacemos referencia al GP2D120 el cual tiene un rango de funcionamiento óptimo desde los 4 cm hasta los 30 cm, este sensor funciona a base de un LED infrarrojo.



Fig. 26 imágenes del sensor infrarrojo GP2D120 (Fuente de la imagen www.highlights.com.ec)

El sensor que se observa en el gráfico se puede utilizar para muchas aplicaciones prácticas como son para medir proximidad de objetos, para evitar obstáculos y la entrada de voltaje es de 5 v directamente la ventaja es que tenemos directamente una salida de voltaje analógico no necesita ningún tipo de acondicionamiento de la señal ya que este proceso de acondicionamiento lo realiza internamente. Para generar una curva de funcionamiento necesita que se coloque un objeto en frente del sensor y se lo utilizaría como un medidor de distancia. La gráfica de funcionamiento del sensor es la siguiente, esta gráfica es otorgada por la casa fabricante del sensor.

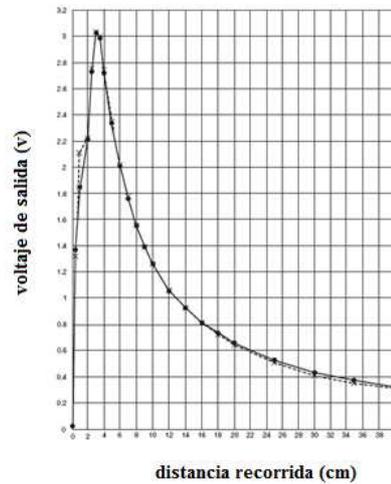


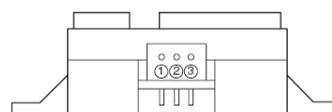
Fig. 27 Cuerva de trabajo (Fuente de la imagen www.highlights.com.ec, cortesía de la casa fabricante)

En la imagen se puede observar una gráfica del comportamiento del sensor la cual es mucho más estable que las experimentadas anteriormente, de acuerdo a la gráfica del sensor infrarrojo llegamos a la conclusión que las señales por así decirlo que se obtuvieron de las distintas pruebas no se le dio por falta de un proceso de filtrado para eliminar ruidos o picos generados, pero a pesar de que se le realice un acondicionamiento de la señal el momento la incidencia de una luz externa influirá notablemente en el valor de voltaje de salida. El sensor seccionado es el SHARP GP2D120 el cual según lo investigado nos ofrece una mayor cantidad de ventajas y sobre todo a lo que apuntamos es que la luz ambiente no afecta su funcionamiento y la conexión para su funcionamiento es sencilla y rápida.

V_o = es la salida analógica de la señal

V_{cc} = es la conexión a 5 v

GND = a tierra.



PIN	SIGNAL NAME
①	V_o
②	GND
③	V_{cc}

Fig. 28 pines de conexión del GP2D120 (Fuente de la imagen www.highlights.com.ec)

4.4 COMUNICACIÓN CON EL COMPUTADOR Y REPRESENTACIÓN DE DATOS

El objetivo de la adquisición de datos es la de transformar el medio físico que se encuentra caracterizando en datos que se pueda visualizar y realizar el análisis posterior, la adquisición de datos nace desde que el sensor infrarrojo SHARP GP2D120 capta el movimiento vertical del conjunto muelle-amortiguador y las transforma en señales eléctricas analógicas, estas señales deben ser enviadas a un hardware con el propósito de transformarlas en señales digitales para que el computador las interprete y se pueda visualizar la información en la pantalla con la ayuda de un software.

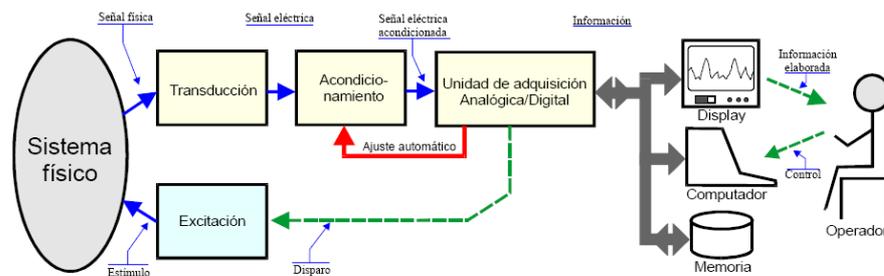


Fig. 29 adquisiciones de datos y proceso de visualización de datos (Fuente de la imagen DRAKE MOYANO, José María “Instrumentación electrónica de comunicaciones” Santander 2005)

En la imagen anterior podemos apreciar un diagrama de bloque para la adquisición de datos. Ya definimos el transductor o sensor la siguiente etapa es la de acondicionamiento de señal, luego estaría la adquisición de datos y posterior la presentación de la información hacia el operario. La capacidad del LabVIEW nos permite el acondicionamiento de la señal de forma directa para esto basta crear un sub VI en el panel de control. Por otra parte necesitamos establecer la forma de la comunicación con el computador, de las dos descritas al inicio de este capítulo, utilizaremos el puerto USB debido a que contamos con la tarjeta de adquisición de datos (DAC).

No utilizamos la conexión serial debido a que el tipo de computador que utilizamos es un equipo portátil que solo posee conexiones por medio del puerto USB. Por otra parte la desventaja de utilizar la conexión serial es que se necesita unas líneas de programación para el PIC en donde necesitamos establecer los parámetros de comunicación como son la velocidad de transferencia de datos, el número de datos (bits) y en el programa que se desarrolle en el LABVIEW también tenemos que establecer los parámetros de comunicación con la configuración del VISA el cual es el link que se utiliza para la comunicación por el puerto serial.

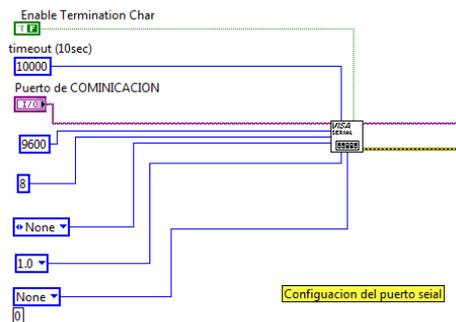


Fig. 30 configuraciones del link VISA para comunicación serial

En la imagen podemos apreciar una parte de la configuración de VISA para la comunicación serial en donde se establece los parámetros más importantes como velocidad de transferencia de datos y numero de bits de muestra. La tarjeta de adquisición de datos de la National Instruments en donde no se requiere de establecer los parámetros de comunicación si no que se configura directamente en el VI del LabVIEW por medio de un link que se le puede configurar como adquisición de datos o como envío de datos hacia un sistema de control.



Fig. 31 link para la configuración de la DAC

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

En este link se puede configurar de acuerdo a los que se necesita, es decir, si es adquisición de datos o es para generar señales de control tanto analógicas como digitales, en la adquisición de señales podemos configurar la forma de señal que está ingresando a la DAC si es voltaje, resistencia, frecuencia en el caso de valores analógicos o valores digitales. Existen un sin número de tarjetas de adquisición (DAC) las cuales varían de valores económicos de acuerdo a las características funcionales. Pero la característica primordial es que poseen conexiones por medio del puerto USB.



Fig. 32 Cable de conexión USB de la tarjeta DAC

En la imagen podemos ver que la facilidad de esta tarjeta es que su conexión a un puerto USB de cualquier computador y como ya se mencionó no necesita fuente de alimentación externa ya que se alimenta del voltaje del puerto USB. La DAC más asequible a nuestros medio y la que cumple nuestro requerimiento es la 6008, la misma que reúne las siguientes características:



Fig. 32 Tarjeta de adquisición de datos (DAC 6008) (Fuente de la imagen www.highlights.com.ec)

- Posee 8 entradas analógicas 4 son diferenciales con velocidad de 10 kS/s, resolución de 12 bits y un rango de +/- 20 a +/- 0.05 v
- Posee 2 salidas referenciadas analógicas con velocidad de 105 Hz, resolución de 12 bits y un rango de 0-5 v
- Posee 12 canales digitales configurables como entradas o salidas
- 1 contador de 32 bits de 5 MHz

Lo que más interesa es la capacidad de muestreo que tiene la entrada analógica, el objetivo de un muestreo es para realizar la conversión de un sistema analógico a uno digital para que se pueda realizar la visualización de los datos en la pantalla del computador. La digitalización o conversión analógica-digital consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud (tensión) de una señal, redondear sus valores a un conjunto finito de niveles preestablecidos de tensión (conocidos como niveles de cuantificación) y registrarlos como números enteros en cualquier tipo de memoria o soporte. En esta definición están patentes los cuatro procesos que intervienen en la conversión analógica-digital:

Muestreo: el muestreo consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toma esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo.

Retención: las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención, el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla, ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas, y carece, por tanto, de modelo matemático.

Cuantificación: en el proceso de cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un

único nivel de salida. Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada: el ruido de cuantificación.

Codificación: la codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero también existen otros tipos de códigos que también son utilizados.

Durante el muestreo y la retención, la señal aún es analógica, puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital.

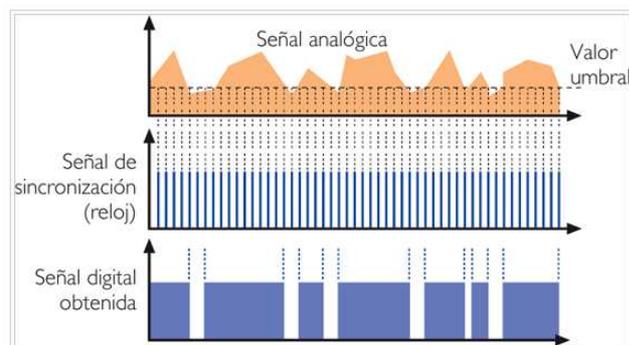


Fig. 33 proceso de digitalización de una señal analógica (Fuente de la imagenes.wikipedia.org)

En la imagen se puede ver la forma de realizar la conversión de una señal analógica a una digital para realizar el proceso de muestreo el hardware utiliza el proceso de muestreo de Nyquist. Según el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, para poder replicar con exactitud la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear. El teorema de muestreo demuestra que toda la información de una señal contenida en el intervalo temporal entre

dos muestras cualesquiera está descrita por la serie total de muestras siempre que la señal registrada sea de naturaleza periódica (como lo es el sonido) y no tenga componentes de frecuencia igual o superior a la mitad de la tasa de muestreo. La intención de citar en breves rasgos la cuantificación de una señal fue para poner en consideración la capacidad de muestreo de la DAC para las señales analógicas que es de 10 kS/s que hace relación a una toma de muestras de 10000 muestras por segundo. El cual es un valor bastante bueno, luego de hacer un breve análisis podemos tener un mejor criterio de selección del hardware que utilizaremos para la comunicación con el computador a lo establecimos la siguiente decisión:

- Para la adquisición de datos utilizaremos un computador portátil en donde no posee un puerto serial de comunicación.
- La realización de la comunicación serial nos daría más problemas que ventajas ya que se puede tener problemas tanto en la programación del PIC como en el diseño de hardware.
- La adquisición de datos por medio de la DAC tiene un mejor plug-and-play tanto con la comunicación con el computador, como los datos que ingresan a ella.

Estas simples características que posee la tarjeta DAC de la National Instruments nos entregan grandes ventajas de utilización en la práctica como en la configuración de la misma para la utilización por la que se decidió realizar la adquisición de la misma, otra de las ventajas es que esta tarjeta viene con una versión incluida del LabVIEW 8.6 como una versión para estudiantes y posee una clave de activación propia del programa por lo que se adquirió la tarjeta de la National Instruments.

4.5 CREACION DEL PROGRAMA PARA GRAFICAR OSCILACIONES DE UN SISTEMA DE SUSPENSION EN LabVIEW.

En esta instancia luego de haber establecido ciertos parámetros y criterios de uso de sistemas de adquisición de datos, y luego de haber establecido la utilización de un sensor infrarrojo, a partir de esto procedemos a realizar un VI de prueba en el LabVIEW para ver cómo trabaja el sensor. Para realizar la conexión del sensor el fabricante nos recomienda colocar un condensador de 10 μf cerca del sensor, la colocación de este condensador es con el fin de que se establezca el voltaje de ingreso hacia el sensor y para eliminar todo lo que son ruidos eléctricos. El voltaje de trabajo del sensor es de 5 v, para lo cual utilizamos una fuente de computador, una de las ventajas de la fuente de un computador es que no solo podemos obtener los 5 v sino una gama más amplia de voltajes como son de 12 v, - 12 v, estos valores de voltajes pueden ser ocupados para otras aplicaciones necesarios a demás se encuentra fácilmente en el mercado.

Para realizar un programa base que nos permitavvisualizar el comportamiento del sensor necesitamos crear una ventana Waveform Chart en la interfaz interactiva del VI o panel principal del LabVIEW.

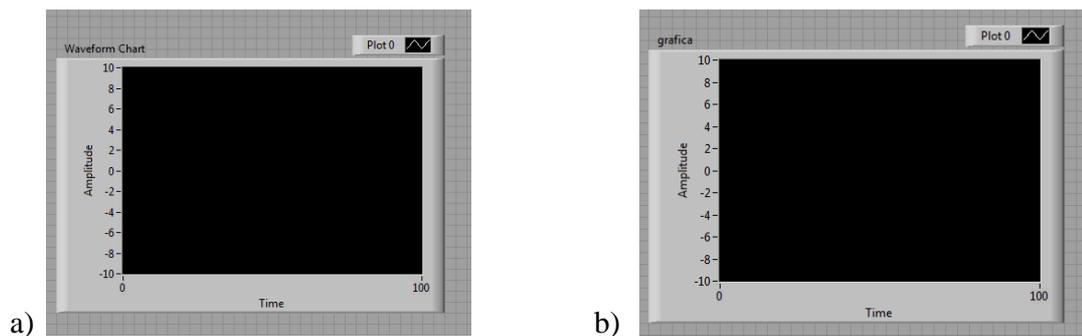


Fig. 34 Instrumentos para mostrar gráficas en el LabVIEW

La facilidad del LabVIEW es que se puede cambiar fácilmente el nombre de las imágenes, ahora, en la pantalla tenemos las dos coordenadas en la que se representaran los valores de amplitud de la onda generada por el sensor en valores de voltaje, es decir valores de distancia por la unidad de tiempo. Como LabVIEW tiene dos paneles en este

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

caso la ventana Waveform Chart se observa desde el panel frontal, aquí se coloca todos los controles que recibe instrucciones del operario, se coloca controles en forma de ventanas. En el panel del VI es en donde realizamos las conexiones y la programación en forma de diagramas de bloques y es en donde la programación se lo realiza en lenguaje G. Aquí realizaremos la configuración de la DAC para adquirir la señal producida por el sensor infrarrojo y que se pueda apreciar en el Panel Frontal.

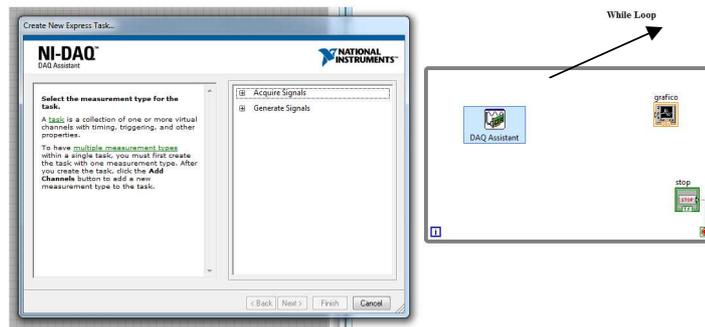


Fig. 35 Diagrama de bloques del programa y configuración de la DAC en LabVIEW

En la imagen anterior se puede apreciar la forma que se realiza el programa de adquisición de datos. Aquí nos aparece automáticamente el icono del gráfico que se colocó en el Panel Frontal y se debe colocar en un WhileLoop que es diagrama de lazo cerrado que permite al programa que se encuentra en el interior repetir la acción varias veces hasta que se presione el botón de parada que se encuentra en el Panel Frontal en la parte superior izquierda, para configurar la DAC se lo puede realizar de dos formas: como entrada de señal para graficar o para adquirir parámetros de control y como señales de salida en donde se puede controlar dispositivos que se requiera, para este caso lo que necesitamos es la entrada de señal y al momento que colocamos el icono en el programador aparece el primer cuadro de dialogo en donde tenemos dos opciones las cuales son adquirir señales o generar señales, en este caso seleccionamos adquirir señales, el momento que escogemos esta opción sale el siguiente cuadro de dialogo.

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

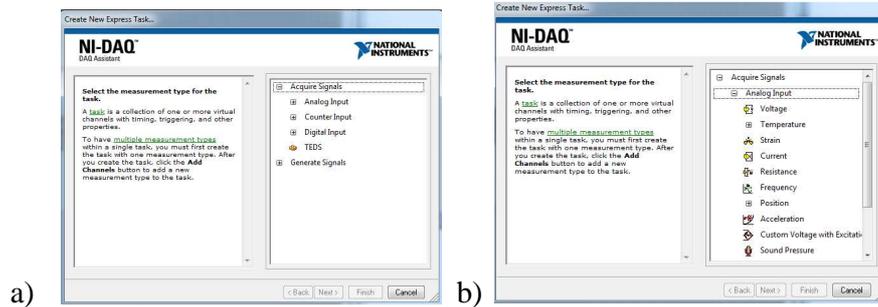


Fig. 36 Configuración de la DAC.

Como se puede apreciar en la imagen a) es el primer cuadro de dialogo en donde tenemos cuatro opciones de selección, se debe escoger la primera la cual es una entrada analógica ya que los valores que llegan desde el sensor son valores analógicos de voltaje, luego que seleccionamos la primera opción aparece el siguiente cuadro de dialogo en el cual debemos escoger de las características de la medición (figura b) el voltaje. Y por último se establece el puerto analógico por donde se quiere realizar la adquisición de datos.

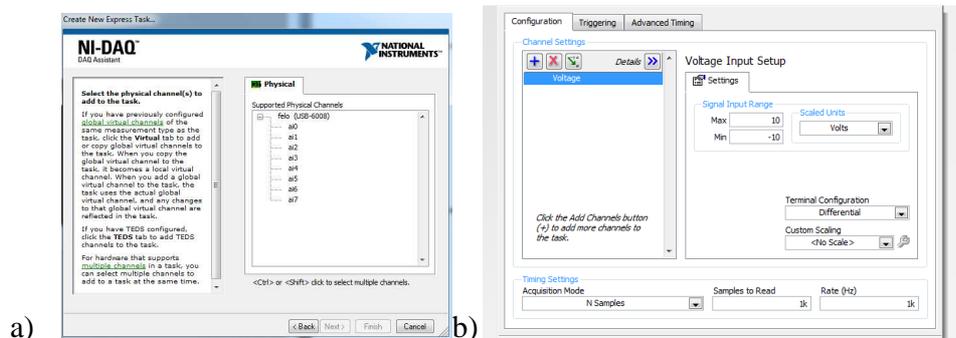


Fig. 37 Configuración de la DAC.

En la imagen anterior se puede apreciar las etapas finales de la configuración de la tarjeta de adquisición de datos, en la figura a) encontramos los puertos por los que ingresarán los valores analógico procedentes del sensor infrarrojo en donde seleccionamos el puerto por el que queremos que ingrese el valor y nos sale una última pantalla en donde se especifican las características del puerto configurado de los cuales podemos destacar los más importantes como son los valores de voltaje máximos y

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

mínimos, el número de muestras y la frecuencia de muestreo que se realizara, presionamos OK y se encuentra configurada la DAC y lista para utilizarse.

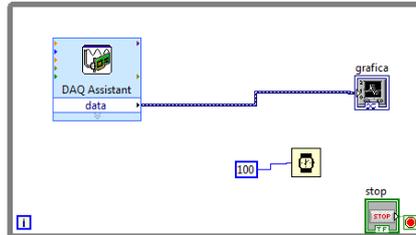


Fig. 38 VI de control terminado

En la figura se puede apreciar el VI de control terminado y se puede utilizar para realizar una prueba de funcionamiento, ahora lo que necesitamos es conectar al sensor alimentándolo con una fuente de voltaje de 5v y el de salida de señal hacia el puerto A01 de la DAC, una característica de la tarjeta es que hay que conectar la GNG a la GND de la fuente de voltaje, para realizar pruebas utilizaremos una baceta y un 7805 (regulador de 5v) para realizar la prueba de funcionamiento. La forma de conexión es la siguiente:

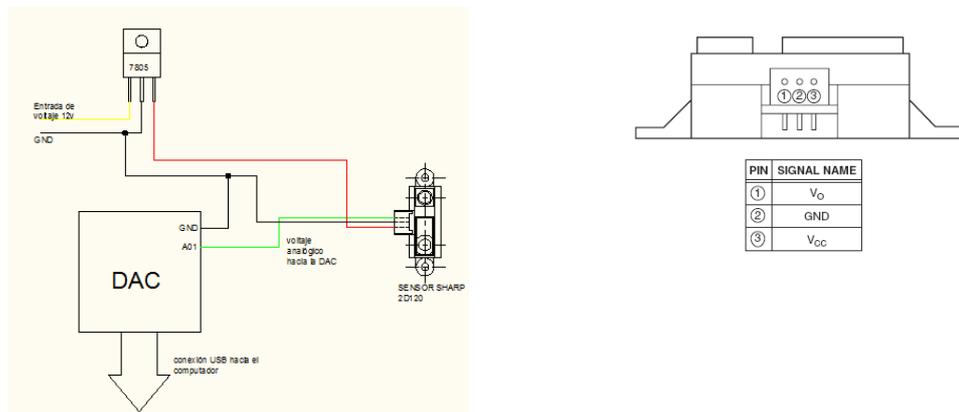


Fig. 39 diagrama de conexión del sensor infrarrojo SHARP 2D120.

En la figura se puede apreciar la forma de conexión del sensor y como se realiza la conexión de la tarjeta DAC hacia la GND de la fuente de voltaje. Para que el sensor pueda captar las señales necesita una superficie en la parte superior del mismo para que

la señal del infrarrojo pueda regresar y cuantificar el valor medido con respecto a una distancia.

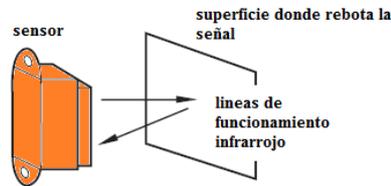


Fig. 40 necesidades del sensor infrarrojo para su funcionamiento

En la imagen anterior establece que para su funcionamiento requiere una superficie en donde rebote la señal del infrarrojo para que el sensor entregue un voltaje un voltaje analógico de salida según sea la distancia a la que se encuentre la misma, en la posición que se coloque la superficie y el valor de voltaje entregado se puede establecer la amplitud de la onda que obtendremos en la gráfica.

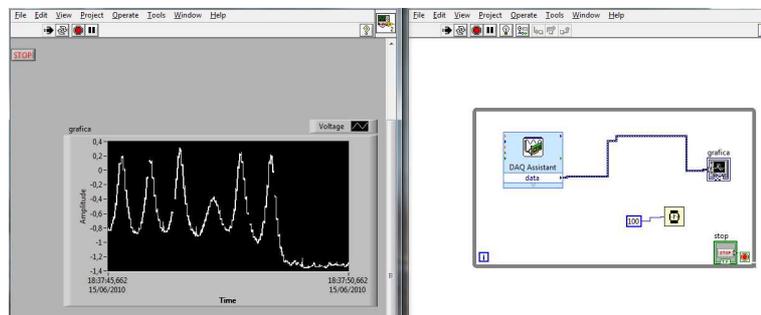


Fig. 41 ondas obtenidas en una prueba de funcionamiento

En la figura anterior se puede apreciar una forma de onda obtenida por medio del sensor en cual se lo realizó sin establecer una altura específica, generando un movimiento vertical para obtener una forma de onda, esta programa generado no será el final ya que es solo de prueba, en esta parte del trabajo generaremos programas los cuales veremos que funcionen correctamente ya que para el programa que será el final se tiene que calibrar con el banco de pruebas en funcionamiento.



Fig. 42 Pruebas de funcionamiento del sensor.

Una de las características del sistema de suspensión y es la cual es el tema central de este trabajo es que el amortiguador tiene la capacidad de variar su coeficiente de amortiguamiento por medio de la acción de una válvula que se encuentra en la parte superior del mismo, por lo que necesitamos controlar esta válvula y como se está utilizando el entorno del LABVIEW para tomar las gráficas de funcionamiento podemos realizar un programa de control para un motor.

4.6 CREACION DE UN PROGRAMA PARA CONTROLAR UN MOTOR DE ACCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE AMORTIGUACION.

Como se ha venido mencionando en varias citas a lo largo de este trabajo es que la característica del funcionamiento del amortiguador es que posee una válvula en la parte superior la cual al momento de girarle 90° la característica del amortiguador cambia a un modo más duro.



Fig. 43 Válvula de control de amortiguación.

El motor que originalmente tiene el vehículo se acciona accionando un pulsante el cual se encuentra en la cabina a disposición del conductor según las necesidades del mismo, en la imagen anterior presentamos la forma de la válvula en la parte superior del amortiguador que al momento de girarle 90 ° cambia de un modo suave a un modo duro o viceversa, ahora lo que necesitamos es un motor que nos permita controlar está válvula desde el entorno del LABVIEW por lo que utilizaremos un motor de pasos unipolar de 6 hilos para realizar la transición de los dos modos. Los motores de pasos son elementos que se utilizan para realizar movimientos de precisión, la diferencia de los motores de corriente continua y los de corriente alterna es que los motores de pasos son mucho más precisos en cuanto a su velocidad, movimiento, enclavamiento y giros. Un motor de pasos se puede encontrar fácilmente en el mercado y existe una gran gama de ellos que varían desde el voltaje de funcionamiento y los grados de giro por impulso el que utilizaremos es el motor de las siguientes características:



Fig. 44 Imagen del motor de pasos.

Motor de pasos SANYO DENKI

Voltaje: 4,5 v cc

Consumo: 1,1 A

Grados de giro por impulso: 1,8°

En la imagen anterior vemos el motor de pasos que utilizaremos para el control de la válvula de amortiguamiento, la razón de la utilización de un motor de pasos con diferencia de uno de corriente continua el cual se puede utilizar es que el motor de pasos

es más preciso en su funcionamiento y como se mencionó el enclavamiento del mismo al momento de darle la orden de parada es inmediata y se lo puede configurar para que gire en los dos sentidos sin la utilización de un puente H. En esta ocasión no tenemos mucha información acerca de cada uno de los cables que se encuentran en el motor de pasos por lo que tenemos que identificar cuáles son las bobinas y las que son Vcc por lo que recurrimos a la teoría de los motores de pasos.

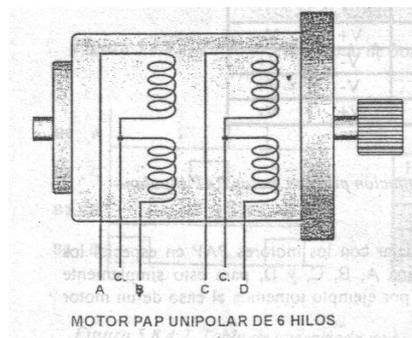


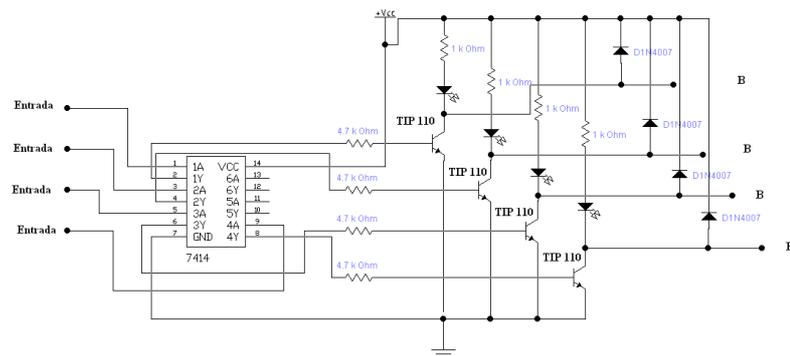
Fig. 45 Imagen esquemática de un motor de pasos de 6 hilos. (Fuente de la imagen Microcontroladores PIC “Programación en BASIC”)

Como podemos apreciar en la figura es un motor de 6 hilos como lo llama el autor, la forma más fácil de encontrar cuales son las líneas de alimentación de Vcc y cuáles son las bobinas es la de realizar la medición de resistencias entre cada uno de los cables con un multímetro, pero en base a que, si miramos nuevamente la imagen anterior presentada si medimos la resistencia entre los hilos C no tenemos ninguna resistencia porque no se encuentran conectados entre sí pero si medimos resistencia entre C y A en la primera sección este nos dará un valor de resistencia, de igual manera si medimos resistencia entre A y B nos dará un valor de dos veces la resistencia y así podemos identificar el grupo de hilos, de igual manera se lo realiza con el otro grupo para encontrar cual es Vcc y cual es bobina, cabe recalcar que si se mide resistencia entre los hilos de un grupo con los del otro nos dará un valor infinito.



Fig. 46 Pruebas para encontrar el grupo de hilos.

Encontrado el grupo de hilos y cuáles son los Vcc y las bobinas lo que nos toca es la de identificar el orden de las bobinas (b1, b2, b3, b4) para lo cual se lo puede realizar de una forma práctica ya que se puede observar el movimiento y se puede identificar cual es cada una de las bobinas. La instalación que realizaremos para encontrar el orden de los bobinados es la siguiente:



2

Fig. 47 Diagrama de conexión para el motor de pasos

Este diagrama podemos ver que necesitamos los siguientes materiales para la conexión de este circuito los cuales detallamos a continuación:

- 1 integrado 7414
- 4 resistencias de 4,7 K Ω
- 4 resistencias de 1 K Ω
- 4 transistores TIP 110

² Conexión basada "CARLOS REYES; Microcontroladores PIC Programación en BASIC" Pg. 122

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

- 4 LED
- 4 diodos 1N4007

El objetivo de esta prueba es la de determinar por medio del funcionamiento del motor el orden de los cables de las bobinas para tener un funcionamiento normal del motor, como trabajaremos con la DAC para realizar los programas de pruebas y el final, utilizaremos un integrado 7414 entre la conexión de los puertos de la DAC y las resistencias de 4,7 K Ω para evitar que algún pico de voltaje llegase a quemar las entradas de la DAC ya que se está trabajando con motores y pueden generar picos.



Fig. 48 Conexión del circuito en un protoboard para pruebas.

En la imagen anterior podemos ver la conexión realizada para realizar las pruebas de funcionamiento del motor para determinar el orden de las bobinas, la prueba realizada nos permitió determinar el orden de las bobinas a las cuales se las marcaron con marcas de tinta en los cables del motor para posteriores verificaciones o cualquier aplicación que se le quiera dar. Ya tenemos el motor listo para generar el programa para que funcione el mismo pero se nos presentó una interrogante el programa o el software ¿Cómo sabe el momento que necesita detenerse? porque el momento que la válvula gire y llegue al lugar que necesitamos que esté porque sería una posición de funcionamiento del amortiguador dura o suave, la solución práctica es la de colocar fines de carrera, en las posiciones donde el amortiguador llega a la posición dura o suave, se podría colocar cualquier tipo de fin carrera desde interruptores por medio de pulsantes hasta implementos electrónicos, para nuestro caso utilizaremos un implemento electrónico ya que estamos ocupando la DAC y como mencionamos posee ocho puertos digitales y

hasta ahora solo ocupamos cuatro puertos para el motor. Para hacer los finales de carrera utilizaremos un opto acoplador FAIRCHIL H21A1.

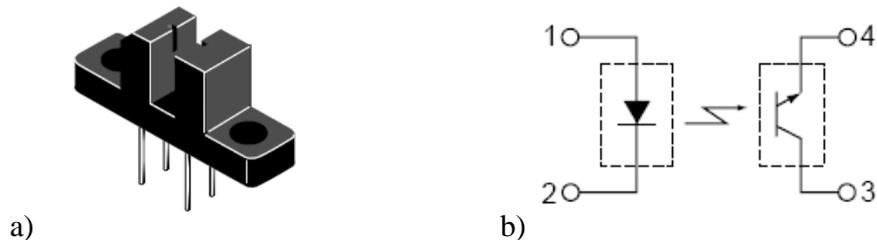


Fig. 49 Imagen del opto acoplador y el esquema interno. (Fuente de la imagen, data sheet descargado desde www.datasheetcatalog.com)

Este tipo de opto acoplador funciona en base de un LED emisor de luz y un fototransistor, lo que necesitamos es acoplar al motor con un disco plástico negro con una ranura para que el momento de que la ranura llegue a la posición permita el paso de luz y mande la señal a la DAC que la válvula ya se encuentra en su posición. El diagrama de conexión que utilizaremos es el siguiente:

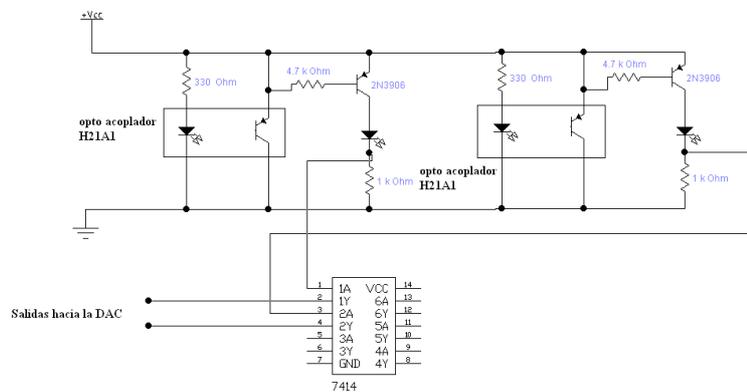


Fig. 50 Diagrama de conexión para los opto acopladores.

Como podemos apreciar en el conexionado anterior también estamos utilizando un 7414, en este caso utilizamos este integrado es para evitar que el sistema de impulsos falsos generados por ruidos en el sistema electrónico, con la utilización de este integrado

³ Conexión basada “CARLOS REYES; Microcontroladores PIC Programación en BASIC” Pg. 87

obtendremos un 0 o 1 digitales en las entradas de la tarjeta DAC. La utilización de los LEDs son con el afán de indicarnos el funcionamiento de los opto acopladores en el momento que el disco gire y la ranura permita el paso de la luz del LED emisor.



Fig. 51 Imagen del disco de plástico negro con una ranura.

Como se mencionó el disco con la ranura es para que el momento que esta se encuentra frente a uno de los opto acopladores y permita el paso del LED emisor de luz el cual hará que el fototransistor se sature y permita que el circuito se cierre a GND permitiendo que se encienda el LED que se colocó mandando un 1 lógico hacia la DAC pasando por el integrado 7414 dando una señal que se le puede considerar que el disco a llegado a la posición indicada, por ende la válvula de igual manera estará en la posición que se requiere.



a)



b)

fig. 52 Imágenes de los opto acopladores y su acople en el motor de pasos.

En la imagen presentada podemos ver la forma que se realizó el acople de los opto acopladores hacia el motor de pasos y la forma de los opto acopladores, ya que se

estableció lo que requerimos para el funcionamiento procedemos a realizar la instalación física del circuito en una baceta de pruebas.



Fig. 53 Imagen de la instalación física del circuito.

Ya que tenemos instalado el circuito del motor y de los opto acopladores en una baceta de pruebas lo que necesitamos es realizar el programa de control en el LabVIEW ya que tenemos en las características de la tarjeta doce entradas analógicas las cuales pueden ser utilizadas como recepción o envío de señales lógicas. De igual manera que el caso anterior necesitamos realizar un sistema de control en un VI en el LabVIEW como ya se mostró en pasos anteriores necesitamos configurar las salidas de la DAC y de igual manera como necesitamos dos entradas de comando que serían los opto acopladores para dar la señal de parada del motor, en este caso configuraremos dos puestos digitales como entrada y cuatro puertos digitales como salida.



Fig. 54 Configuración de la DAC.

En la imagen anterior estamos configurando las estradas digitales donde tendremos el ingreso de datos y la salida de datos. Las entradas de datos digitales de los opto

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

acopladores son los canales del puerto 0 las líneas o canales 0 y 1 y para el control del motor configuramos como salidas los canales del puerto 1 con los canales 0, 1, 2 y 3, como se ha mencionado la capacidad del motor de pasos es que su uso puede ser bidireccional por lo que se ocupará una nueva ventana en el LabVIEW la cual es CASE STRUCTURE (caso de estructura) en donde el programa se comporta en base a datos que se consideran como falso o verdadero, el programa generado para el control del motor es el siguiente:

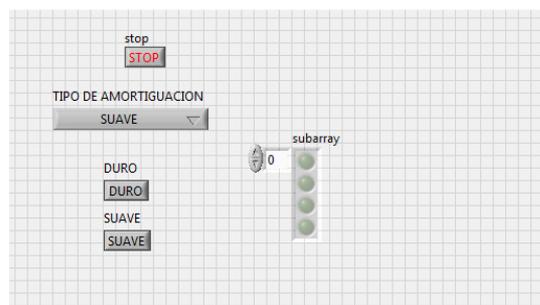


Fig. 55 Imagen del VI central.

En la imagen presentada vemos la forma del VI central de donde controlaremos el programa podemos ver que tenemos opciones las cuales se las ha colocado como duro o suave lo cual se ha colocado de esta manera para poder cambiar el sentido de giro del motor.

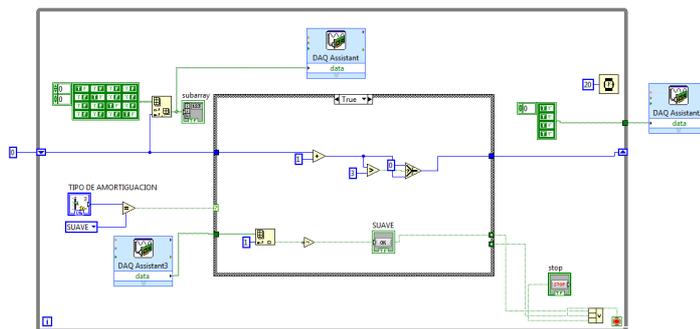


Fig. 56 Imagen del diagrama de control modo Suave.

En la imagen podemos ver el VI de control creado para controlar el funcionamiento del motor en este caso como se mencionó se encuentra cuando el programa se encuentra para que el motor gire hasta llegar a la posición de suave en donde el CASE STRUCTURE se encuentra en TRU (verdad) por lo que si el motor se encuentra en otra posición comienza a girar el motor hasta que la ranura del disco permita el paso del LED emisor de luz que se encuentra en la posición del amortiguador de suave este opto acoplador se encuentra conectado en el puerto 0.1, cierra el circuito y llega un 1 lógico hacia la tarjeta DAC por lo que hace que el programa se detenga.

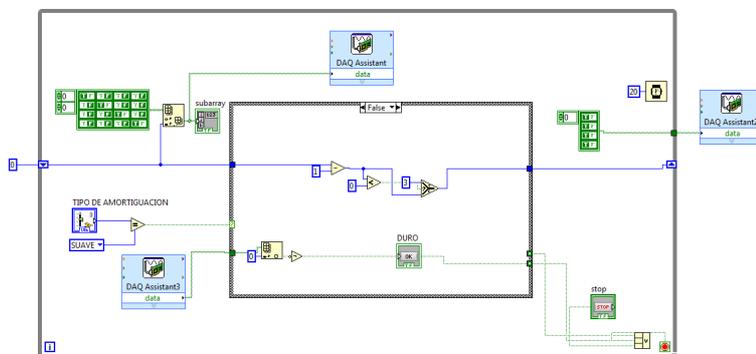


Fig. 57 Imagen del diagrama de control en modo Duro.

En la imagen anterior vemos una imagen del programa el momento que se encuentra en un valor falso en donde el motor comienza a girar en sentido horario hasta que la ranura del disco acoplado al motor de pasos permita el paso de luz en el opto acoplador que se encuentra en esa posición el cual se encuentra conectado en el puerto 0.0 y mande una señal digital hacia la DAC la cual hará que se detenga el programa. El motor se la ha realizado un acople con un eje que ingresa en la parte superior del amortiguador para que la válvula comience a girar con el motor de pasos.



Fig. 58 Imagen del motor de pasos acoplado al amortiguador.

En la imagen anterior podemos ver al motor acoplado al amortiguador en el banco de pruebas para realizar las pruebas de funcionamiento. En si esta son las necesidades que enfrentamos en la toma de señales y mandos que requerimos, por otra parte para realizar la grabación de datos se encontró otra dificultad para realizar las pruebas no tenemos una referencia física del banco de pruebas, a lo que nos referimos es que hasta ahora no sabemos la velocidad de la prueba por lo que sería necesario colocar un cuentarrevoluciones sobre el eje de salida en donde se encuentra la rueda excéntrica. Para este caso del cuentarrevoluciones lo realizaremos de igual manera por medio de un opto acoplador el cual es un elemento el cual sirve o se utiliza para contar pulsos en donde se le puede realizar un ajuste con cierto número de parámetros los cuales se los puede transformar a revoluciones por minuto, de igual manera utilizaremos la misma configuración de la conexión del opto acoplador, en la tarjeta DAC tenemos un canal en donde se puede contar pulsos de entrada el cual lo podemos utilizar para hacer el cuanta revoluciones en el eje de salida lo que se tiene que realizar es un acople hacia el eje con una rueda que presente ranuras para permitir el paso de la luz del LED.

4.7 CREACION DE UN PROGRAMA DE CUENTARREVOLUCIONES EN EL LabVIEW.

La creación de un control de revoluciones de salida del motor para realizar las pruebas es una necesidad que se obtuvo en el proceso de construcción del banco, este control no estaba contemplado a colocarse pero el momento de realizar las pruebas de funcionamiento en el banco de pruebas como establecemos el rango de velocidad en la

que se realizará la prueba, por esta razón colocaremos un cuentarrevoluciones para tener este valor en la pantalla y saber a qué revoluciones del motor estamos realizando las pruebas, la facilidad de esta aplicación es que la tarjeta DAC nos presenta un canal en donde se tiene una opción de contar los pulsos que se tiene en un determinado tiempo el cual se puede transformar en revoluciones. El puerto en la tarjeta DAC que se tiene para contar pulsos se denomina PFI0 (CTR0) en donde ingresa pulsos digitales (1 y 0 lógicos) y este los cuenta y podemos establecer las revoluciones.

Antes de pasar a realizar un programa en el LabVIEW, debemos establecer el elemento mecánico, eléctrico o electrónico que realizará la tarea de contar pulsos en el eje de salida, esta teoría se aplica en los vehículos en donde un dispositivo cuenta pulsos en una rueda dentada, estas señales son utilizadas para determinar la velocidad a la que se encuentra el eje de salida, por lo general se los coloca el eje de transmisión para saber la velocidad final que sale hacia la rueda, este tipo de dispositivo se lo utiliza en vehículos que se encuentran equipados con dispositivos ABS o Controles de Tracción. Este mismo principio utilizaremos en base a un opto acoplador del mismo tipo que se utilizó para los finales de carrera, por lo que necesitaremos un disco acoplado por medio de un buje al eje de salida, la característica de este disco es que tendrá varias ranuras y no solo una, si se utilizaría solamente una ranura el cuentarrevoluciones sería demasiado inestable y no tendríamos un valor verdadero, por lo que en una primera instancia necesitamos realizar el acople de un disco a un buje que ingrese en el eje.



Fig. 59 Imagen del disco acoplado al eje.

En la figura presentada anteriormente se encuentra ya el disco soldado a un buje colocado sobre el eje en donde se le está haciendo las ranuras que permitirán el paso de luz desde el emisor y hará que se cierre el circuito dando un 1 lógico el cual ingresará al puerto PF10 y comenzará a contar los pulsos de entrada. Para este caso se realizará al disco con ocho ranuras las cuales nos darán una mayor exactitud en la medición de las revoluciones del eje de salida, como se ha mencionado utilizaremos un opto acoplador el cual será conectado de la misma manera que se realizó anteriormente con la utilización de un integrado 7414 para evitar señales falsas por ruidos o algún tipo de picos de voltaje, la conexión es la siguiente:

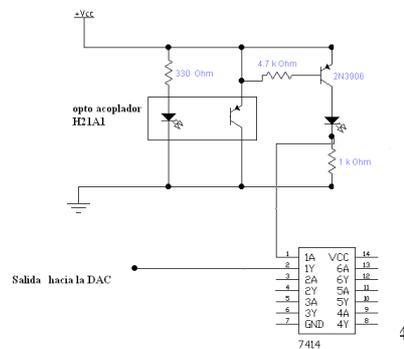


Fig. 60 Diagrama de conexión del circuito

Como ya se ha mencionado se utilizará el mismo dispositivo para realizar el cuentarrevoluciones ahora lo que necesitamos es crear el VI de control para realizar el cuenta revoluciones, como en casos anteriores necesitamos configurar la DAC para que cuente los pulsos en ese puerto a diferencia de las anteriores aplicaciones la configuración de la DAC es un tanto distinta ya que se tiene que colocar el puerto para contar pulsos.

⁴ Conexión basada “CARLOS REYES; Microcontroladores PIC Programación en BASIC” Pg. 87



Fig. 61 Configuración del puerto de conteo de pulsos.

En la imagen anterior podemos ver lo se ha venido haciendo el configurar la conexión del LabVIEW con la tarjeta DAC, a diferencia de citas anteriores en este caso la opción a seleccionarse es la de COUNTER INPUT en la pantalla principal de configuración de la DAC, luego se selecciona la opción EDGE COUNT y nos sale el puerto de conteo el cual el PF10 (CTR0) aceptamos el puerto y se encuentra listo para utilizar este puerto.

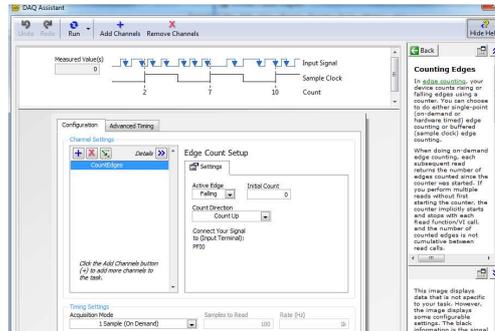


Fig. 62 Imagen del cuadro de dialogo con el puerto ya configurado.

En la imagen anterior podemos apreciar el cuadro de dialogo final en donde ya se encuentra configurada la DAC para el conteo de pulsos de ingreso ahora ya establecidos estos parámetros procedemos a realizar el VI de control que necesitamos y el principal.

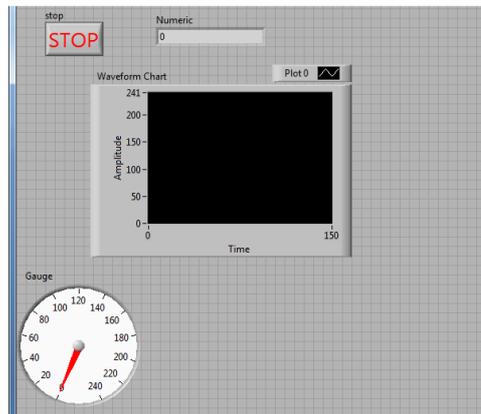


Fig. 63 Imagen del VI central del programa.

En la imagen podemos ver que se ha colocado algunos implementos que nos permite ver las revoluciones a las que gira el eje de salida.

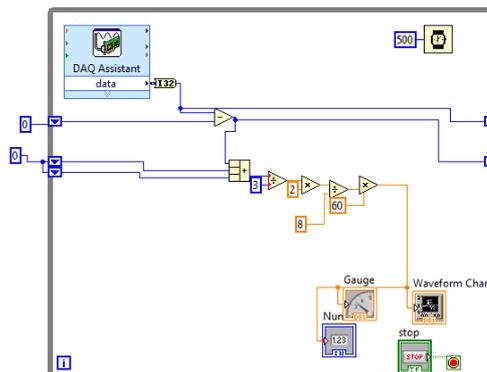


Fig. 64 Imagen del VI de control

En la imagen anterior presentada vemos el VI de control en donde se encuentran los bloques que realizan la tarea de contar los impulsos y de transformarla en revoluciones que se mostrarán en la pantalla principal. El programa creado es un programa básico y en cierta forma sencilla, vemos que tenemos una imagen de un reloj y al lado una constante, bueno esto utilizamos para que en los 500 milisegundos cuente el número de pulsos que ingresa al puerto y podemos ver en los laterales del bucle cerrado existen unos iconos de color azul estos se llaman SHIFT REGISTER en donde mantenemos una suma de pulsos que entran como los que salen, desde ahí realizamos unas operaciones

básicas de división y multiplicación. En la primera división lo realizamos para tres ya que tenemos tres registros de entrada donde se nos almacena la información para que se sumen los pulsos, se realiza una multiplicación para que se obtenga los datos en segundo, estos datos dividimos para ocho por el número de ranuras y por último multiplicamos por sesenta para obtener las revoluciones por minuto y las mandamos al tacómetro y a ver su curva de funcionamiento. Las pruebas que se realizarán son directamente con el banco en funcionamiento ya que son estas revoluciones las que queremos medir.



Fig. 65 Imagen del montaje del opto acoplador en el banco de pruebas.

Ya que se han establecido los programas que necesitaremos procedemos a realizar el armado en una baceta de pruebas para comprobar su funcionamiento, para luego proceder a realizarla en una tarjeta impresa.



Fig. 66 Imagen de todo el circuito ensamblado en una baceta de pruebas.

Ya que hemos armado en una baceta de pruebas procedemos a realizar las pruebas de los circuitos en instancias separadas para comprobar su correcto funcionamiento, las pruebas de funcionamiento las podemos realizar en el propio banco de pruebas para observar el funcionamiento del mismo.

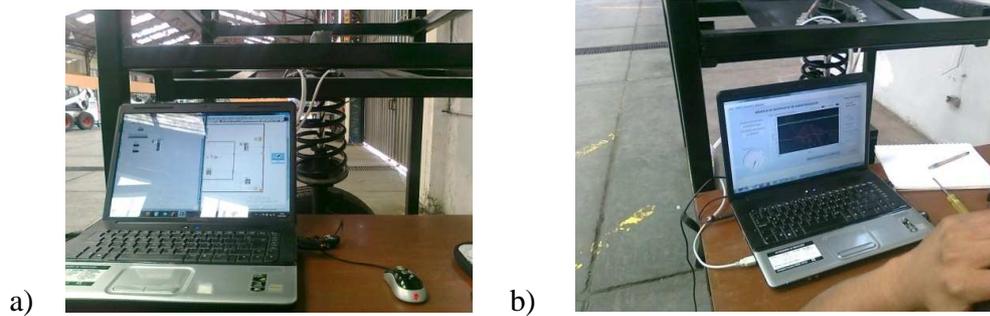


Fig. 67 Pruebas de funcionamiento de programas.

En las imágenes anteriores podemos ver las instancias que realizamos las pruebas de funcionamiento de los programas creados para obtener los datos que requerimos y para el control del motor de pasos, ya que hemos comprobado el funcionamiento de los programas procedemos a realizar el circuito impreso en una placa por lo tanto procedemos a realizar el diagrama de conexión para construir la placa impresa. (Diagrama de conexión de los circuitos en el Apéndice B)

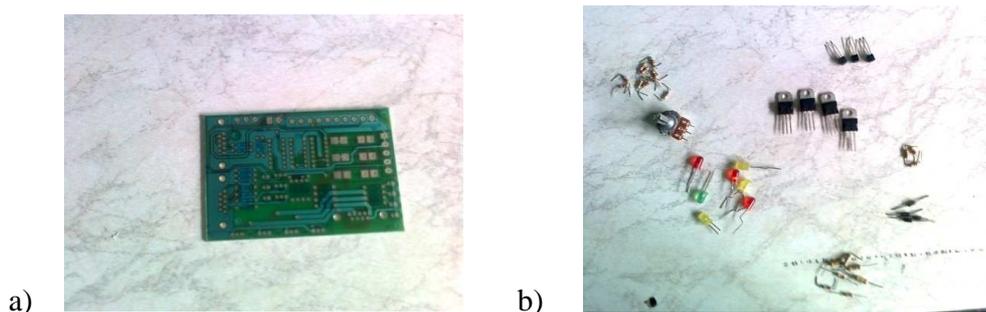


fig. 68 Imágenes de la tarjeta impresa y los implementos electrónicos.

En la imagen anterior podemos ver la placa impresa (a) y los implementos electrónicos (b) que utilizaremos para el conexionado de la placa impresa, la placa electrónica

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

impresa se la realizó en base a los diagramas de conexión que se encuentran en el Apéndice B, la lista de materiales que necesitaremos son los siguientes:

- 4 transistores TIP110
- 3 transistores 2N3906
- 4 diodos 1N4007
- 2 integrados 7414
- 3 conectores DB9 hembras para placa
- 3 resistencias de 330 Ω
- 3 resistencias de 4,7 K Ω
- 11 resistencias de 1 K Ω
- 7 LEDs
- 1 bornera de 5 entradas 1 bornera de 10 entradas
- Cable multipar de 6 pares, 4 pares y 2 pares.

Como se ha mencionado se utilizará una fuente de computadora para suministrar los voltajes requeridos para el funcionamiento de la placa impresa, los sensores y el motor de pasos. Los cables utilizaremos para realizar las conexiones desde la tarjeta impresa hacia los sensores, para la facilidad de desmontaje y de conexión entre los mismos se utilizará conectores DB9 machos y hembras.



Fig. 69 Imagen de la tarjeta impresa finalizada.

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

En la imagen anterior podemos ver la tarjeta impresa ya terminada con los implementos soldados a la misma. A continuación colocaremos las terminales DB9 y su forma de conexión en base a los pines de cada uno, para la conexión se partió desde el diseño de colocar DB9 independientes uno para el motor, otro para los fines de carrera y un tercero para el cuenta revoluciones y el sensor infrarrojo los pines de conexión de la placa son:

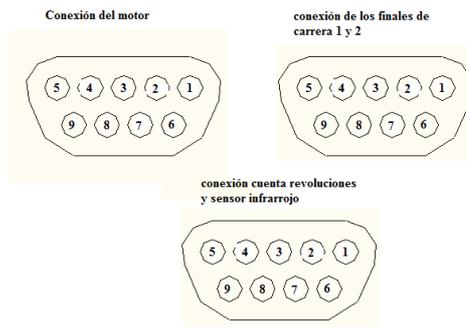


Fig. 70 Conexión DB9 de la placa impresa.

Placa DB9 motor		Pin 5	C1
Pin 1	Vcc.	Pin 6	C2
Pin 2	Bobina 1	Pin 7	D1
Pin3	Bobina 2	Pin 8	D2
Pin 4	Bobina 3	Placa DB9 cuenta revoluciones y sensor infrarrojo	
Pin 5	Bobina 4	Pin 1	Vcc.
Pin 9	Vcc.	Pin 2	GND
Placa DB9 Fin carreras		Pin 3	Vo.
Pin 1	A1	Pin 4	E1
Pin 2	A2	Pin 5	E2
Pin 3	B1	Pin 6	F1
Pin 4	B2	Pin 7	F2

Tabla 1 puertos de conexionado desde la placa impresa.

CAPITULO 4 REALIZACION DE UN PROGRAMA CON EL SOFTWARE LabVIEW

En la tabla e imagen anterior vemos la forma de conexionado de las terminales DB9 desde la placa ahora la conexión del DB9 del motor no ha cambiado se configuro los mismos pines de conexión en el motor los que cambiamos son los de finales de carrera y los contarrevoluciones ya que se los hizo independiente en el momento de realizar la conexión en los lugares que se encuentran los cuales también presentamos a continuación:

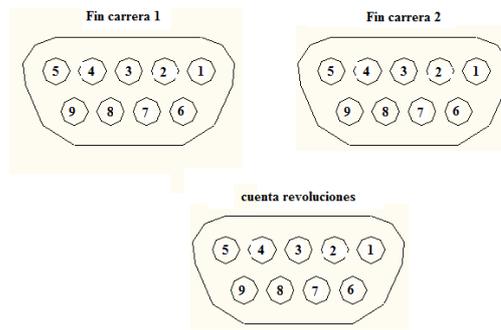


Fig. 71 Conexionado de fin carrera y contarrevoluciones.

DB9 fin carrera 1		Pin 6	C1
Pin 1	B1	Pin 9	C2
Pin 5	B2	DB9 cuenta revoluciones	
Pin 6	A2	Pin 1	E2
Pin 9	A1	Pin 5	E1
DB9 Fin carrera 2		Pin 6	F1
Pin 1	D2	Pin 9	F2
Pin 5	D1		

Tabla 2 puertos de conexionado de los opto acopladores.

En la tabla e imagen anterior podemos ver la forma de conexión de los pines en el lugar donde se encuentran los opto acopladores, ahora lo que utilizaremos es un conector DB15 para la conexión de la tarjeta DAC y las borneras de la placa con el afán de facilitar la desconexión de la misma el momento que se lo requiera los pines de conexión son los siguientes:

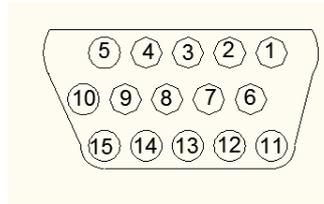


Fig. 72 Conexionado de la tarjeta DAC

Conexionado DB15 DAC		Puertos DAC	Conexionado DB15 DAC		Puertos DAC
Pin 1	Bobina 3	P 1.2	Pin 12	Bobina 2	P 1.1
Pin 2	Bobina 1	P 1.0	Pin 13	Bobina 4	P 1.3
Pin 3	Cuenta revo.	PFI 0	Pin 14	Infrarrojo	AI 0
Pin 4	Fin carrera 1	P 0.1	Pin 15	GND	GND
Pin 5	Fin carrera 2	P 0.0			

Tabla 3 puertos de conexionado de la DAC

En la imagen anterior y la tabla presentamos los pines de conexión que utilizaremos para el control y adquisición de datos del banco de pruebas, se ha colocado un DB15 para el momento que en futuras mejoras se pueda colocar más puertos según las necesidades de mejoras. Para finalizar se procede a colocar todos los implementos en un compartimiento para que no pueda ser manipulado por lo que se le colocará en un tablero eléctrico (tablero pesado) como el que se utilizó para la colocación del variador de frecuencia, no se realizó la adquisición de un solo tablero con el objeto de aislar las dos partes para evitar posibles complicaciones.



Fig. 72 Montaje de los implementos.

En la imagen anterior podemos ver el montaje de los implementos (placa electrónica impresa, fuente y tarjeta DAC) en la plataforma base del tablero eléctrico que se encuentra listo para colocarse en el mismo y posteriormente en el banco de pruebas para poder realizar ya pruebas de funcionamiento.

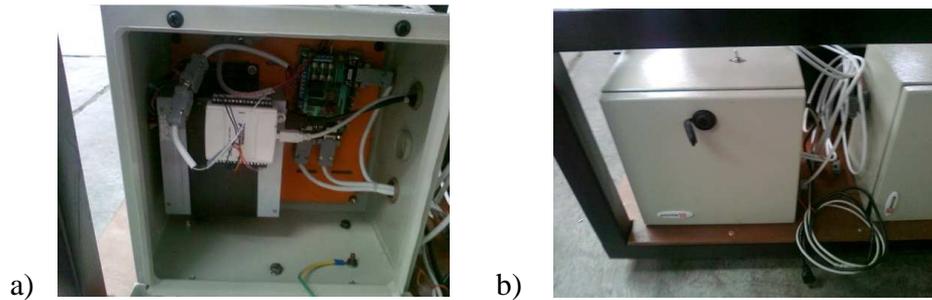


Fig. 73 Imágenes del tablero eléctrico terminado y montado en el banco de pruebas.

En las imágenes anteriores podemos ver al tablero eléctrico ya terminado y montado en el banco de pruebas, en la figura (a) podemos ver como se quedó la instalación en la parte interior del tablero eléctrico y en la siguiente figura vemos montada el tablero eléctrico en el banco de pruebas con todos los cables colocados listos para realizar pruebas de funcionamiento. A lo largo de todo este capítulo hemos establecido los parámetros y elementos que requerimos para la toma de señales y comando del motor de pasos para realizar las pruebas de funcionamiento del banco, hemos presentado los programas básicos los cuales utilizaremos para la toma de señales y control del motor por lo que generaremos un programa final el cual será la mezcla de los presentados en este apartado del trabajo por lo que necesitamos realizar muchas más pruebas de funcionamiento y comparar los resultados obtenidos en base a estas lo que realizaremos en el capítulo a continuación.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS

CAPITULO 5



CAPITULO 5

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS
DE RESULTADOS

5.0 INTRODUCCION.

Lo que se ha realizado a lo largo de este trabajo, es con el afán de dar a conocer el funcionamiento de un sistema de suspensión semi-activa mediante la realización de un banco de pruebas, una vez terminado los capítulos anteriores y realizado la construcción y adaptación de elementos seleccionados para el funcionamiento del mismo, nos disponemos a realizar las pruebas correspondientes que nos permita conocer el desempeño de todo el sistema que se ha realizado, en base a lo cual se podrá realizar cambios, correcciones y mejoras de ser necesarios. Además se indicarán las instrucciones de uso del banco de pruebas para facilitar el manejo al usuario.

5.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Con todos los elementos mecánicos y electrónicos montados en la estructura del banco de pruebas nos disponemos a poner en funcionamiento y observar el desempeño de cada elemento y realizar las correcciones de ser necesario.



Fig. 1 Banco de pruebas del sistema de suspensión.

A lo largo de toda la realización de este proyecto final hemos establecido los elementos que utilizaremos en la construcción del banco de pruebas se ha terminado esta etapa ahora lo que necesitamos es poner en funcionamiento el banco para determinar qué elementos se necesita mejorar o cambiar para el funcionamiento.

Como se ha mencionado realizaremos pruebas de funcionamiento del banco para determinar, pero antes de poner en funcionamiento el banco se debe de montar los distintos elementos que hemos o sensores que utilizaremos para medir diferentes valores que utilizaríamos para el funcionamiento del banco de pruebas. Pero en primera instancia realizaremos la prueba de funcionamiento del motor conectado con el variador de frecuencia, la programación del variador de frecuencia se lo realizó de la manera que se describió en el capítulo III ya que esa es la forma de puesta en marcha del variador de frecuencia Dinamics G110 que recomienda el fabricante y como se lo recomienda se realizó la programación del mismo bajo supervisión y ayuda de una persona capacitada en el área de electricidad. La programación se lo realizó en el BOP.



Fig. 2 Pruebas de funcionamiento del variador de frecuencia.

En la imagen anterior podemos ver la caja en donde se encuentra colocado el variador de frecuencia en donde se ha realizado la programación del mismo y verificaremos el funcionamiento, la misión del variador de frecuencia es la de controlar la velocidad de rotación del motor eléctrico. La puesta en marcha se lo realizó de una manera directa sin la utilización de pulsantes ni de un potenciómetro si no desde el BOP, puesta en marcha el motor funcionó sin ningún problema el variador de frecuencia controla la velocidad del motor perfectamente, ya que hemos comprobado el funcionamiento del motor y del variador de frecuencia lo que necesitamos es colocar el eje con las chumaceras y la rueda excéntrica la cual generará el movimiento vertical y hará que el conjunto muelle-amortiguador funcione y estos se compriman.



Fig. 3 Montaje del eje en donde se encuentra la rueda excéntrica.

En la imagen anterior tenemos el montaje del resto de elementos que conforman la parte constitutiva del banco de pruebas realizamos la puesta del eje con la rueda excéntrica, en la imagen también podemos ver la colocación de los muelles que compensarán la carga que ejercerá el sistema de suspensión y cierta carga que se colocará por medio de la aplicación de los tornillos que se colocaron en las cuatro esquinas de la estructura, la estructura del banco de pruebas se ha realizado la construcción en base a las dimensiones propuestas y cargas generadas, referenciados por el análisis estructural que se ha realizado en el programa ANSYS se estableció que la misma soportará las cargas estáticas que se colocaron en su análisis, para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema de suspensión lo realizaremos con cargas menores que las que fueron establecidas en el cálculo ya que el diseño del mismo está basado en una de las condiciones de cálculo que se realizó en el capítulo II que hace referencia a que la masa m_2 que hace referencia a la suspendida es de mayor peso que m_1 por lo que las cargas verticales que afectan a m_1 están separadas de m_2 por lo que no les afectan por lo tanto a m_2 se le considera estática. Ya que se encuentra colocada los elementos que generarán el movimiento vertical procedemos a realizar el montaje de la suspensión y la rueda en el banco.



Fig. 4 Sistema de suspensión montada en el banco de pruebas.

En la imagen podemos ver ya el sistema de suspensión colocada en el banco de pruebas en donde tenemos primer problema el cual se presenta en el momento de arrancar el sistema de vibración debido al contacto directo entre la plancha y la leva pese a que están colocados dos muelles en la parte inferior de la plancha los cuales compensan el peso de la masa suspendida y no suspendida, por esta razón colocamos un eje con rodillos el cual hace contacto con la rueda excéntrica disminuyendo así la fricción generada por el contacto de la misma con la mesa de soporte. El eje utilizado es el 705 de diámetro de 22 mm al cual se encuentra unido en los extremos por dos canastillas NPN 20 x 23 x 20 mm. Como resultado obtuvimos una mejora en cuanto al arranque y un movimiento mucho más homogéneo.



Fig. 5 Eje 705 y los rodillos utilizados.

En la imagen anterior podemos ver la forma que se colocó al eje con los rodillos, colocado este nuevo elemento que nos redujo la fricción con estos nuevos cambios procedemos a realizar nuevamente una prueba de funcionamiento, en las nuevas pruebas colocamos un poco más de carga en donde se obtuvo un nuevo problema en donde al momento de arrancar el motor con una carga mucho mayor no a la antes colocada el

motor no funcionó en donde procedemos a realizar un análisis de la conexión eléctrica ya anteriormente el sistema si funcionó en donde revisando un poco más a profundidad los manuales del fabricante del variador de frecuencia en donde encontramos que este tipo de variadores a pesar que son parte de una de las mejores gamas de la SIEMENS y este variador de frecuencia es para aplicaciones industriales, la característica principal es que controla la corriente que se entrega al motor para poder controlar la velocidad del mismo por lo que no tendríamos la utilización de todo el torque de arranque que se calculó en el capítulo III a pesar que el torque nominal no abastecía la fuerza de empuje necesaria, pero como se mencionó se colocó muelles para compensar el peso que se coloque encima de mesa de soporte, por otra parte el banco que se diseño es con el afán de sacar las curvas de funcionamiento que nos entregaría el conjunto muelle-amortiguador por lo que realizaremos las pruebas de funcionamiento sin ejercer demasiada carga ya que en este punto tenemos limitaciones en el equipo que se adquirió para el funcionamiento del banco de pruebas. Luego de tener este inconveniente se estableció que la carga que generaría la masa suspendida no entraría como un valor fundamental ya que estamos tomando en cuenta que el valor de la misma se encuentra estática basándonos en la condiciones de análisis matemático se establecieron en el capítulo II y se recalcó al inicio de este capítulo final, entraría en función de la prueba si lo que estaríamos midiendo es el valor de la adhesión del neumático con respecto a la calzada en donde se establece el valor de la masa suspendida ya que este valor depende directamente de la misma. Ya colocados los elementos del sistema de suspensión y procedemos a colocar los sensores que establecimos para probar su funcionamiento.



Fig. 6 Colocación del motor de pasos

En la imagen anterior vemos la colocación del motor de pasos en la parte superior del amortiguador el cual controlará el movimiento de la válvula, este motor nos permitirá el cambiar de estado del amortiguador de duro o sport a suave o confortable. Colocado el motor de pasos en su posición y asegurado. También se realizó la colocación del opto acoplador H21A1 el realizará el conteo de pulsos desde la rueda con ranuras que se colocó en el eje para realizar el conteo de revoluciones.



Fig. 7 Montaje del opto acoplador H21A1.

En la imagen apreciamos el montaje del opto acoplador en el banco de pruebas, se colocó este tipo de elementos para poder cambiarlos fácilmente en caso de algún daño ya que se los puede encontrar en cualquier almacén electrónico y su costo de adquisición no es un valor alto, en el capítulo anterior tenemos detallados cuales son los pines y la posición de cada uno de los cables que conectan cada uno de los sistemas electrónicos utilizados en el banco de pruebas lo que facilitaría el cambio de cada elemento. Este tipo de opto acopladores se utiliza como finales de carrera en el motor de pasos como se ha mencionado anteriormente. Lo que nos resta es el colocar el sensor infrarrojo GP2D120 el cual estará colocado directamente en el muelle del sistema de suspensión el cual medirá el desplazamiento vertical del sistema de suspensión generado por la rueda excéntrica lo que necesitamos colocar es una superficie en donde rebote la señal del sensor y pueda dar los valores de medición los cuales se presentarán en la pantalla del computador.



Fig. 8 Montaje de las bases para colocar el sensor y la superficie de referencia.

En la imagen anterior podemos ver la forma que se está colocando el sensor infrarrojo y una superficie de referencia para realizar las mediciones, colocados los elementos de medición que necesitamos para realizar las pruebas de funcionamiento procedemos a realizar la colocación de los pulsantes para realizar el arranque, parada del variador de frecuencia y la colocación del potenciómetro para la variación de la velocidad del motor.



Fig. 9 Montajes de los pulsantes y potenciómetro.

En la figura anterior podemos apreciar que se encuentran colocados los pulsantes de arranque y parada que dan la señal para que el variador comience a funcionar y el potenciómetro el cual hace que el variador de frecuencia varíe cabe la redundancia la velocidad del motor trifásico que se encuentra colocado, en el sistema de arranque utilizamos dos pulsantes uno verde para dar inicio al funcionamiento del banco de suspensión y otro rojo para desactivar o apagar, estos pulsantes inicialmente estaban ubicados en la caja y por facilidad de operación se reubicó en el tablero junto con el potenciómetro del variador de frecuencia.

5.1.1 PRUEBAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.

En esta prueba verificamos el correcto funcionamiento de los componentes electrónicos y que los valores de voltaje sean los adecuados. Se procede a verificar el valor del voltaje de ingreso y salida de la tarjeta electrónica, la utilización de una fuente de un computador como ya se ha mencionado se tiene la facilidad de obtener una gama de voltajes que comúnmente se ocupan en implementos electrónicos y sobre todo la facilidad de reemplazo en caso de algún daño, utilizamos un multímetro para realizar las comprobaciones.



Fig. 10 Comprobación del funcionamiento de los implementos electrónicos

Se verifica la fuente de alimentación de los sensores y la existencia de ruido en los circuitos con la ayuda del software LabVIEW en caso de existir ruidos o perturbaciones se procede a eliminar colocando un estabilizador de corriente o condensadores según sea el caso. La perturbación es mínima en nuestro circuito ya que contamos con un estabilizador de voltaje. Se verifica el funcionamiento de los led que se colocó en la tarjeta impresa para ver el funcionamiento de la misma el momento que el motor de pasos, cuando hace contacto cada uno de los finales de carrera y el cuenta de revoluciones, la pruebas de funcionamiento de la tarjeta impresa se lo realiza desde el LabVIEW.

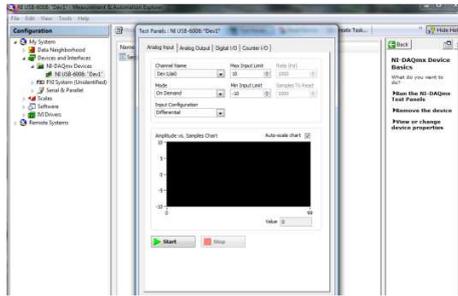


Fig. 11 Prueba de la tarjeta electrónica.

En la imagen anterior podemos ver la pantalla en donde se puede realizar las pruebas de funcionamiento de la tarjeta electrónica en esta pantalla podemos enviar como recibir los datos directamente tanto analógicos como digitales e incluso el contarrevoluciones lo podemos probar desde aquí ya que tiene la opción de contar los pulsos de ingreso.

5.1.2 PRUEBAS DE LOS SENSORES.

Estas pruebas tienen por finalidad comprobar el buen funcionamiento de los elementos que se encuentran colocados en el banco de pruebas, en una primera instancia revisaremos el buen funcionamiento del sensor infrarrojo el GP2D120 que mide la distancia que se comprime el muelle y podemos comprobar su funcionamiento en el software hecho en LabVIEW, observando la gráfica descrita.



Fig. 10 Prueba de funcionamiento del sensor infrarrojo.

En la imagen anterior presentamos las primeras pruebas que se realizaron en el banco de pruebas, comprobamos el funcionamiento del sensor infrarrojo en donde se ha obtenido la señal que se encuentra generada por el sensor

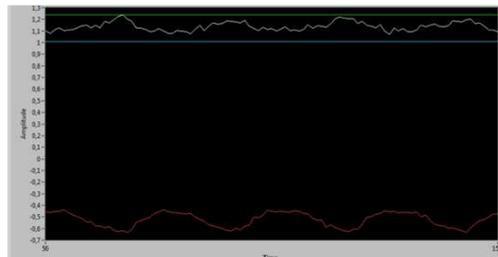


Fig. 11 Imagen de la gráfica obtenida.

En la imagen podemos ver la forma de la gráfica que se genera por medio del funcionamiento del banco de pruebas en donde se aprecia la forma de la onda no se aprecia de la mejor manera es decir que la resolución de la tarjeta de adquisición de datos no está tomando la cantidad de datos necesaria para que la señal salga con toda la información que el sensor está entregando. Lo que necesitamos es realizar una etapa de amplificación de señal y tratar de aumentar el número de muestras. Lo que procedemos a probar es el motor de pasos como se ha mencionado este controla la válvula de cambio de estado del amortiguador, cabe recalcar que los programas de pruebas que se está realizando son los mismos que se establecieron en el capítulo anterior, se prueban estos programas ya que el programa final que estableceremos estará conformado por los programas prototipos que establecimos anteriormente.



Fig. 12 Prueba de funcionamiento del motor de pasos.

En la imagen anterior podemos ver el momento que estamos probando el programa realizado en el LabVIEW para controlar el motor de pasos, el programa lo que hace es girar en un sentido o en el otro hasta que el opto acoplador H21A1 indique que ha llegado a la posición que se desea, la prueba de funcionamiento nos entregó resultados satisfactorios en lo que cabe al funcionamiento del motor de pasos y el correcto funcionamiento de los opto acopladores como fin carrera. Por último lo que nos hace falta es comprobar el funcionamiento de del contador de revoluciones el cual es un valor que se decidió colocar para referencias de velocidad del motor para las pruebas de funcionamiento.



Fig. 13 Pruebas de funcionamiento del contador de revoluciones.

En la imagen anterior podemos ver el VI de prueba del contador de revoluciones el resultado de esta prueba es satisfactoria ya que las revoluciones que nos presentan están en base al conteo de pulsos generados por el sensor el momento que por las ranuras permite el paso de luz.

5.1.3 PRESENTACION DEL PROGRAMA DE CONTROL FINAL.

En esta parte de este capítulo generamos un programa final en donde se ha mencionado anteriormente estarán incluidos los programas que hemos generado para las pruebas de los elementos que se ha establecido para controlar los distintos implementos que colocaremos. El programa final que hemos generado es el siguiente:

Pantalla de inicio.

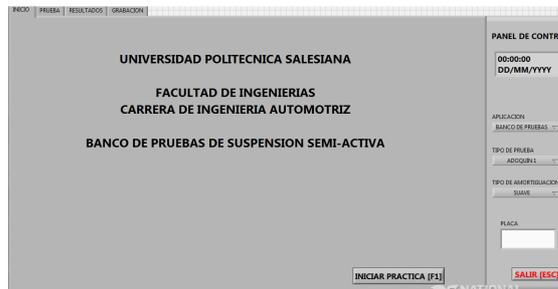


Fig. 14 Pantalla de inicio del Programa en LabVIEW.

En la imagen anterior podemos ver la forma del programa principal en donde la pantalla de inicio tenemos algunos valores que necesitamos colocarlos para realizar las pruebas en el panel de control tenemos datos de hora y fecha las cuales se actualizan automáticamente con los datos del computador, se tiene algunas opciones para seleccionar el tipo de amortiguación tanto duro como suave y también se tiene el link en donde dice INICIAR LA PRUEBA en donde cambia a la siguiente pantalla.

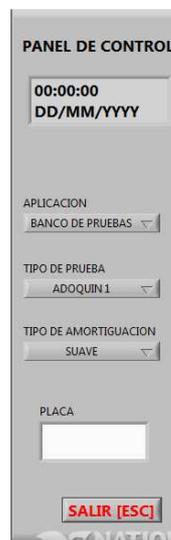


Fig. 15 Imagen del panel de control.

En la imagen anterior vemos el panel de control en donde se ingresan algunos datos para distinguir cada una de las pruebas, ya mencionamos en donde se establece la hora y la

fecha de la prueba, la de tipo de amortiguación, en el tipo de prueba se puso algunas opciones para distinguir las pruebas, de igual manera el número de placa.

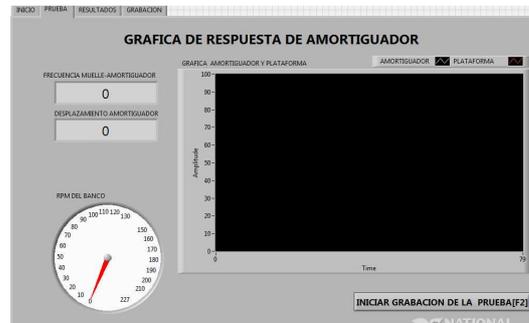


Fig. 16 Cuadro de dialogo de la prueba.

En la imagen anterior tenemos el cuadro dialogo con el usuario del banco de pruebas en donde se presenta la gráfica proveniente del sensor que se encuentra colocado en el muelle, también se nos presenta la velocidad que se encuentra girando el eje de salida en donde se encuentra colocada la rueda excéntrica, nos entrega datos adicionales como son el desplazamiento del muelle y a la frecuencia que se encuentra trabajando y en la parte baja tenemos un link que dice INICIAR GRABACIÓN DE LA PRUEBA en donde pasa a otro cuadro de dialogo en donde comienza la grabación de la prueba, cabe destacar que en la pantalla de inicio en donde se escoge la opción del amortiguador al momento de pasar al presente cuadro si el motor de pasos se encuentra en la posición seleccionada pasa directamente a este cuadro de dialogo o si no pasa a un VI secundario que se estableció para controlar el motor de pasos que le hace girar hasta la posición seleccionada. El momento que pasa a la siguiente pantalla de grabación es en donde graba los datos que entrega el sensor, el cuadro de dialogo es el siguiente.



Fig. 17 Pantalla de grabación de la prueba.

En la imagen que presentamos es en donde se presenta la gráfica generada por el sensor que se encuentra colocado en el muelle del sistema de suspensión, el tiempo de grabación de la prueba es de 5 segundos en la gráfica podemos apreciar la amplitud de la onda en la ordenada Y, en la otra ordenada X tenemos el tiempo, el momento que se termina la prueba pasa a otra pantalla en donde presenta la gráfica que se generó.

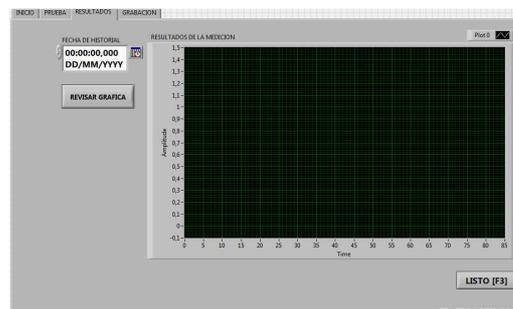


Fig. 18 Pantalla final de la prueba.

En la imagen anterior podemos apreciar en donde se presentan los resultados de la prueba realizada tenemos una pantalla cuadrículada en donde podemos apreciar de una mejor manera los resultados obtenidos en la prueba. En este cuadro tenemos dos links los cuales dicen REVISAR GRAFICA en donde podemos ver de una manera más detallada los valores obtenidos de la gráfica y el otro es LISTO en donde se da por terminada la prueba. Cabe resaltar que este programa generado podemos realizar cambios en el momento que generemos las pruebas con el objetivo de mejorarlo.

5.2 INSTRUCCIONES INICIALES.

A continuación se detallan algunos pasos que son de mucha importancia para poner en funcionamiento el banco de pruebas:

- Conecte la toma de corriente de color rojo (tres polos más tierra) a una toma de corriente alterna de 220V de la misma característica.



Fig. 19 Conexión de la toma de 220

- Energizar todo el sistema eléctrico del banco de pruebas, para esto, coloque en la posición ON el interruptor de color rojo ubicado sobre la caja principal.

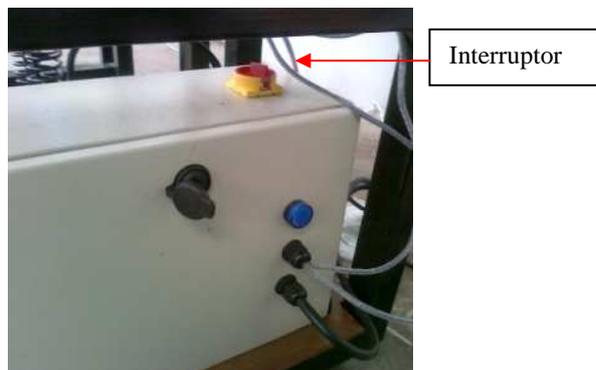


Fig. 20 Interruptor central del variador de frecuencia

- Encender el computador y verificar que la ventana del programa de LabVIEW aparezca en la pantalla automáticamente, de lo contrario, dar doble click sobre el icono del escritorio.

- Encender la parte electrónica del banco de pruebas en su caja correspondiente.



Fig. 21 Interruptor de la caja en donde se encuentran los elementos electrónicos.

- Digitar los datos solicitados en la ventana principal del programa de LabVIEW, luego de haber digitado todos los datos, dar un clic en el link INICIAR PRACTICA.

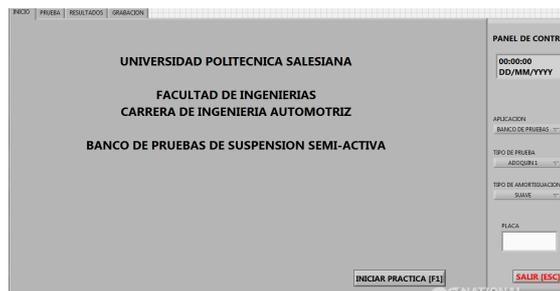


Fig. 22 Pantalla de inicio del programa de pruebas.

- Poner en funcionamiento el variador de frecuencia, para esto, en el tablero de control presionar el botón de color verde (STAR), luego girar el potenciómetro de color verde para seleccionar la velocidad con la que se quiere realizar la prueba.

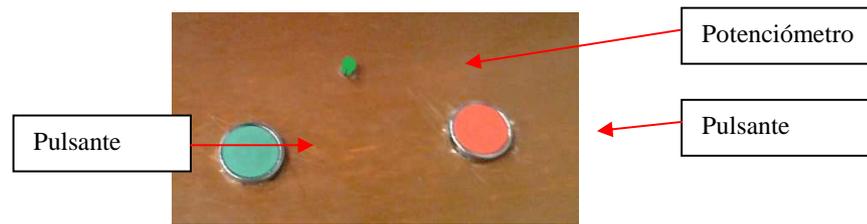


Fig. 23 Mandos de control del banco de pruebas.

Nota: Para grabar los datos que se visualizan en la pantalla del computador haga clic en el link grabar prueba.

- Para finalizar la prueba, hacer clic el link FINALIZAR PRUEBA y presione el pulsante rojo (STOP) ubicado en el tablero de control.
- Regrese el potenciómetro de selección de velocidad de color verde a la posición cero.
- Para visualizar los datos obtenidos en la prueba hacer clic el link VISUALIZAR DATOS.

Nota: Para realizar nuevas pruebas realizar los pasos descritos anteriormente, pero seleccione otra velocidad.

5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS

Aquí se realiza un estudio de la respuesta gráfica del sistema de suspensión semi-activa en una primera instancia estableceremos el funcionamiento comparando gráficas en los dos estados y ver la forma de la onda que obtenemos en las pruebas. Una de las necesidades que nos surgió en esta instancia es que la onda que tenemos por parte del sensor que tenemos colocado en el muelle no tenemos en base de comparación con alguna otra señal como por ejemplo del desplazamiento de plancha que hace referencia al carretero en cierta forma ya que se analizó que desarrollar las condiciones del carretero en un banco de pruebas es un poco complejo como la de simular condiciones de funcionamiento del sistema de suspensión como de bamboleo o de cabeceo los cuales son generados cuando el vehículo se encuentra en marcha. Una de las señales con las

compararemos es con la del desplazamiento de la plancha de soporte, para este caso utilizaremos de igual manera un sensor infrarrojo GP2D120 el medirá este desplazamiento.



Fig. 24 Colocación del segundo sensor infrarrojo.

En la imagen que presentamos la colocación del segundo sensor con el cual mediremos el comportamiento de la plancha de soporte y la compararemos con la señal que nos entrega el sensor colocado en el sistema de suspensión, la razón por la que compararemos estas señales es con el afán de comparar sus amplitudes ya que como se demostró en el cálculo matemático la forma de comportarse el sistema de suspensión con respecto al valor de la calzada es sumamente distinta en sus amplitudes de onda lo cual trataremos de demostrar por medio de las pruebas en las dos posiciones de funcionamiento del amortiguador. Ya que el sensor que utilizaremos es el mismo que el que tenemos colocado en el sistema de suspensión la conexión será la misma, ya que nos encontramos realizando algunos cambios en las partes electrónicas tendríamos que realizar la colocación de una tarjeta electrónica impresa adicional a la que se encuentra ya en el banco de pruebas con los implementos adicionales electrónicos que sean necesarios para mejorar y facilitar la comprensión de los valores que nos estaría entregando las pruebas. Para realizar unas pruebas de funcionamiento lo realizaremos en los dos estados de funcionamiento del amortiguador y con la variación de presión en el neumático ya que si nos basamos en los datos mediante cálculos aproximados que realizamos el papel que realiza el neumático y la masa no suspendida es fundamental ya que esta soporta mayor frecuencia que el mecanismo en si del sistema de suspensión ya que el neumático soporta o mejor dicho se acopla a la forma del carretero las pruebas

que se realizó con una velocidad del motor de aproximadamente 35 rpm, cabe recalcar que las pruebas se las puede realizar con una velocidad del motor eléctrico de hasta 240 rpm ya que se posee el variador de frecuencia.

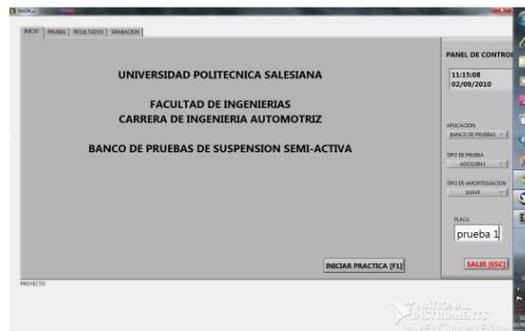


Fig. 25 Panel de inicio del programa.

En la imagen anterior podemos ver la primera prueba que realizaremos en el banco con una velocidad de rotación del motor eléctrico de 35 rpm ingresamos los datos en primera instancia el nombre PRUEBA 1 en donde el amortiguador se encuentra en modo suave o confort.



Fig. 26 Panel en donde vemos las gráficas.

En la gráfica anterior podemos ver las gráficas en donde la de color blanco hace referencia a la gráfica del sensor que se encuentra colocado en el sistema muelle-amortiguador y la de color rojo la de desplazamiento de la mesa de soporte, luego de este panel procede el programa a grabar los datos y nos lo presenta en una pantalla con más detalles la cual tenemos a continuación.

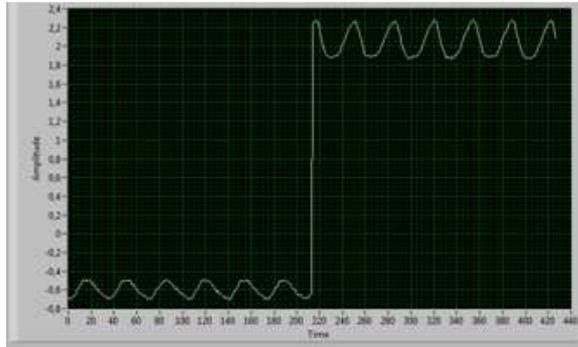


Fig. 27 Gráfica final obtenida después de la prueba.

En la gráfica que se ha presentado podemos ver la forma de onda que se ha obtenido al final de la prueba si recordamos las gráficas que se presentaron al inicio se tenía demasiado ruido en el funcionamiento se lo ha eliminado mediante la colocación del sensor desde un punto mucho más cercano hacia la superficie en donde rebota la señal del sensor, pero retomando la gráfica vemos que en este caso le estamos introduciendo un movimiento continuo que en este modo mantiene una amplitud en los valores fijados en la escala de la pantalla de 1,85 hasta los 2,3 veamos qué es lo que sucede en modo duro a la cual la llamaremos PRUEBA 2.

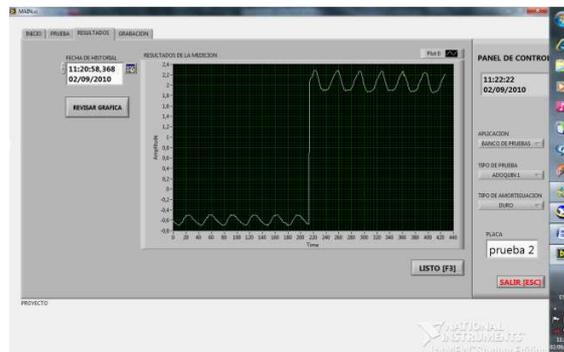


Fig. 28 Imagen de los resultados de la PRUEBA 2.

El procedimiento que se siguió es similar al que se realizó anteriormente y podemos ver en la gráfica que la amplitud como se obtuvo en los cálculos en el capítulo dos vemos que existe una leve resistencia al movimiento por parte del amortiguador si nos dirigimos a los valores que se puede establecer en la escala de la pantalla vemos que estos valores van desde 1.9 hasta los 2.3 y en la prueba visiblemente se puede ver que

existe esta resistencia al movimiento vertical que nos encontramos generando en el banco de pruebas en donde podemos establecer que ese debe de ser el comportamiento del sistema de suspensión semi-activa que en cada modo de funcionamiento el sistema se comporta de una forma distinta, en este caso que presentamos este banco la amplitud de la curva se mantiene no en el valor obtenido en modo suave porque nosotros le obligamos en cierta forma así por decirlo que el sistema de suspensión recorra la forma del movimiento vertical que estamos generando. La siguiente prueba que generaremos es en base a una presión menor de la llanta con las mismas condiciones a la presión que utilizaremos es de 20 psi.

La primera prueba que se realiza es en modo suave por lo que la gráfica que tenemos como resultado siguiendo el mismo proceso de la prueba que se describió anteriormente es la siguiente:

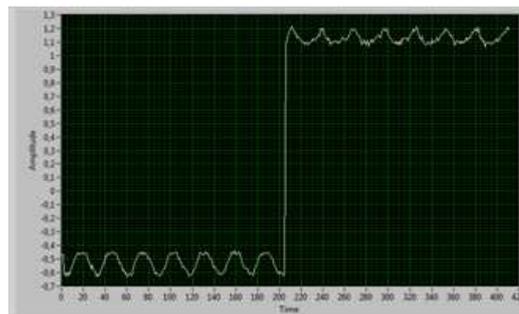


Fig. 29 Gráfica de la prueba en modo suave con una presión del neumático a 20 psi.

En la gráfica podemos ver la forma de onda en donde vemos que la amplitud de la misma ha disminuido notablemente con el mismo desplazamiento vertical que hemos estado utilizando para las pruebas, la respuesta a este resultado es como se estableció en base a varios autores que el neumático se le considera como un resorte si disminuimos la presión la rigidez del neumático disminuye por lo que el movimiento vertical se encuentra absorbiendo en gran parte el neumático, veamos qué es lo que sucede con el modo duro.

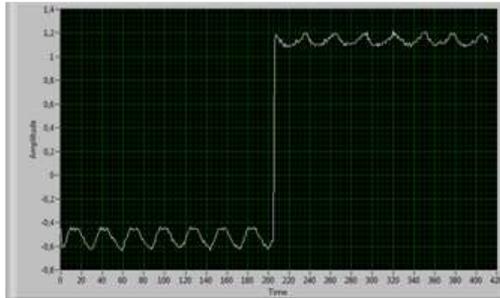


Fig. 30 Gráfica de la prueba en modo duro con una presión del neumático a 20 psi.

En la última gráfica que hemos presentado podemos ver que ha disminuido de mucho más el valor de la amplitud en donde demostramos que el correcto reglaje de la presión de los neumáticos influye notablemente en los valores de amplitud de onda de que se transmiten hacia el elemento del muelle-amortiguador.

Las pruebas que se han generado en verdad no son las suficientes para entregar valores sumamente detallados en base a estas condiciones de funcionamiento de un sistema de suspensión al cual nosotros en base a las características de una suspensión mecánica la denominamos semi-activa por la capacidad de cambiar sobre la marcha del vehículo y la influencia notable del tener una presión de aire en los neumáticos recomendada por el fabricante, cabe recalcar que en cierta forma disminuyó notablemente en el valor de las amplitudes de la onda que llega hacia el conjunto muelle-amortiguador y si nos basamos en el valor de frecuencia de oscilación que obtuvimos en base a un cálculo en el capítulo dos que es de aproximadamente 0,5 Hz es bueno no tener amplitudes excesivamente grandes ya que causaría sensaciones de mareo en el pasajero pero esta condición la tenemos por tener otro tipo de neumático que se utilizó para este banco de pruebas y porque los valores numéricos de los elementos utilizados tanto como el muelle, amortiguador y el neumático fueron obtenidos en base a pruebas empíricas y aproximadas a los valores que en realidad son, si hacemos referencia al programa que hemos generado en el ambiente del LabVIEW, es un programa base al cual se lo puede realizar varios cambios en base a las necesidades que se tenga de implementar en el banco de pruebas ya que como hemos venido mencionando que la estructura se la utilizaría como base para otro tipo de aplicaciones.

5.4 CONCLUSIONES

- La frecuencia de la oscilación dependen de la carga, constante de elasticidad del muelle y coeficiente de amortiguamiento por lo que si variamos uno de ellos variara su frecuencia.
- Un amortiguador regulable permite variar el coeficiente de amortiguamiento y a su vez la frecuencia de oscilación según la irregularidad del camino y así obtener confort a los ocupantes del vehículo.
- El rango de frecuencia de oscilación en la suspensión de un vehículo comprendido entre 1Hz y 2Hz, se puede considerar como ideal por cuanto la impresión causada en los pasajeros es de confort. Valores superiores a este rango son intolerables para los ocupantes del vehículo por cuanto excitan el sistema nervioso además de un sinnúmero de inconvenientes para la salud. Valores inferiores a este rango producen una sensación de mareo.
- El sistema de suspensión requiere de un mantenimiento continuo, de tal forma que sus elementos permanezcan en buen estado, lo que permite que la seguridad y confort de los ocupantes del vehículo sea un factor inalterable.
- Un muelle es rígido cuando su coeficiente de elasticidad es elevado, lo que implica valores de frecuencia mayores y periodos de oscilación menores, determinando una suspensión dura.
- Un muelle es blando cuando el valor de su coeficiente de elasticidad es bajo, lo que implica valores de frecuencia menores y periodos de oscilación mayores, determinando una suspensión blanda.
- Al considerarle a la masa suspendida como estática el cual es el caso que presentamos en este proyecto no nos permite el apreciar claramente al valor de frecuencia que se generaría en el momento que se aplique una vibración vertical.
- Determinamos el funcionamiento y las implicaciones de este tipo de suspensión con la utilización de un amortiguador que pueda cambiar sus características de amortiguación determinándolo a partir de amplitudes que puede generar el sistema en cada uno de los estados que pueda tener un sistema de suspensión de este tipo.

- La incidencia de la presión del neumático en el sistema de suspensión es sumamente importante ya que es verdad que si no queremos que se generen amplitudes demasíadamente grandes mantendríamos la presión de los neumáticos baja ya que el mismo absorbería las irregularidades del camino pero en el caso que alcance valores altos como se analizó pueden generar sensación de mareo.
- Al mantener un sistema de suspensión dura o deportiva se obtendría mayor estabilidad en el vehículo ya que el sistema de suspensión al oponerse al movimiento vertical que es generado por el carretero y al impedir un mayor número de oscilaciones impediría que la rueda pierda el contacto con la calzada y se pueda perder el control del vehículo a altas velocidades.
- Una suspensión dura sacrifica el confort de los pasajeros ya que no permite que el movimiento vertical se pierda paulatinamente sino que sea un sistema sumamente amortiguado.
- Realizar la simulación de condiciones dinámicas de un vehículo como son el movimiento de cabeceo, bamboleo e incluso el vertical ya que las irregularidades del carretero son distintas una de otra son sumamente complicadas para la aplicación de bancos de prueba.

5.5 RECOMENDACIONES:

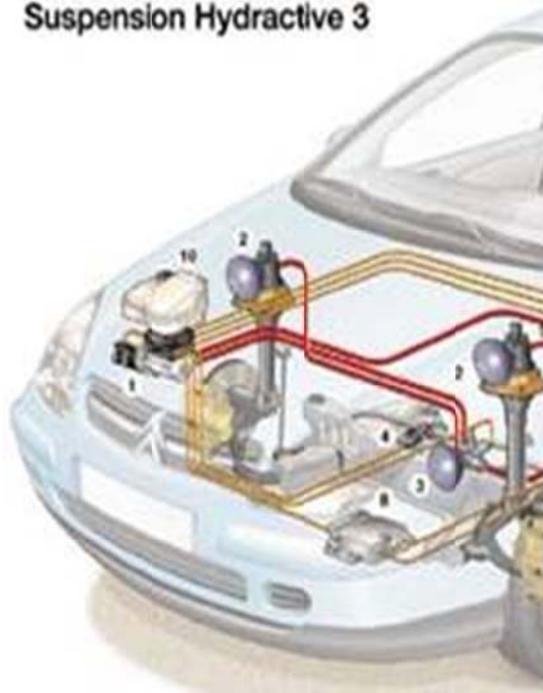
- Debido a que el conjunto rueda-neumático forma parte del sistema de suspensión es aconsejable realizar un mantenimiento continuo ya que como se pudo demostrar el estado del mismo es importante en el papel que cumple el sistema de suspensión.
- Para la aplicación del banco de pruebas con mayores cargas que la que se ha establecido se debería cambiar el sistema de control del motor ya que se obtuvo problemas en el funcionamiento del banco de pruebas con cargas altas.
- Este tipo de suspensiones que poseen la capacidad de variar sus condiciones de funcionamiento son aconsejables en la utilización en los vehículos ya que la

geografía de las carreteras de nuestro país presentan carreteras de primer, segundo y tercer nivel.

- Para un estudio y comprensión de mejor manera de un sistema de suspensión sea esta una mecánica común como tenemos en la mayoría de los vehículos, un sistema de suspensión semi-activa se la debería realizar con pruebas en carretera, e incluso con la utilización del programa en el LABVIEW que presentamos en este trabajo ya que los sensores y la utilización de la DAC se la puede acoplar fácilmente a un vehículo que se encuentra en nuestro medio.
- Como se ha mencionado la estructura y el programa fueron presentados para la aplicación de este trabajo pero puede servir de base a otras aplicaciones que se requiera demostrar en cuestiones de sistema de suspensión.

CITROËN C5

Suspension Hydractive 3



APENDICE A

PLANOS CONSTRUCTIVOS DEL BANCO DIDACTICO DEL SISTEMA DE SUSPENSION SEMI-ACTIVA

APENDICE B

PLANOS ELECTRICOS Y
ELECTRONICOS DEL BANCO
DIDACTICO DEL SISTEMA DE
SUSPENSION SEMI-ACTIVA

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA: LIBROS

- DANIEL Álvarez, PABLO Luque y CARLOS Vera, Ingeniería del Automóvil: Sistemas y Comportamiento Dinámico. España: Thomson, 2004.
- H. Kindler, H. Kgnast, Matemática Aplicada para la Técnica del Automóvil. España: Reverté 1986 (colección GTZ)
- ÁNGEL Sanz González, Tecnología de la automoción 2.3. Editorial Bruño EDEBE
- JOSÉ MANUEL Alonso Pérez, Temática automotriz: Mecánica del automóvil
- JOSÉ MANUEL Alonso Pérez, Técnicas del automóvil: Chasis
- JOSÉ MANUEL Alonso Pérez, Circuito de fluidos, suspensión y dirección
- APARICIO IZQUIERDO, Teoría de los Vehículos Automóviles
- CASCAJOSA Manuel, Ingeniería de Vehículos: Sistemas y Cálculos. España: Editorial Tébar Flores, 2000
- ROBERT Norton, Diseño de Máquinas. México: Prentice Hall, 1999
- JOSHP EDWARD Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGraw Hill, 1985
- R. C. Hibbeler, Ingeniería Mecánica: Dinámica. México: Prentice Hall, 1996
- CARLOS A Reyes, Microcontroladores PIC: Programación en Basic. Ecuador: RISPERGRAF, 2006
- JESUS Félez, Dibujo Industrial. España: Editorial SINTESIS, 1999
- GENE H. Hostetter, CLEMENR J. Savant, RAYMOND T. Stefani, Sistemas de Control. México: INTERAMERICANA, 1984

BIBLIOGRAFIA: PÁGINAS WEB

http://www.zator.com/Hardware/H2_5_3.htm

<http://www.stilar.net/Archivos%20Web/Eficiencia%20en%20Motores%20El%E9ctricos.pdf>

<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan/017069/017069-06.pdf>

<http://www.monografias.com/trabajos23/motores-corriente-alterna/motores-corriente-alterna.shtml>

<http://apuntes.danielcastelao.org/apuntes/carlos/curso%20FOREM%20-%20FSE/TEMA%207%20-%20MOTORES%20EL%C9CTRICOS/motores%20electricos%201.pdf>

http://www.techniforum.com-imgs-neum_02-neumatik_01_gif.mht

<http://todoproductividad.blogspot.com>

<http://www.sew-eurodrive.com>

<http://roble.pntic.mec.es>

<http://audivwcrewpr.com>

<http://support.automation.siemens.com>

http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/H/2/1/A/H21A1.shtml

http://www.electronica2000.net/curso_pdf/leccion79.pdf

<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Otros/Infrarrojos/Datasheet/fotoTrans3.pdf>

<http://www.highlights.com.ec/site/images/stories/robotica/GP2D120.pdf>

<http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/bot/no/ap/global/lang/en/pg/1/ps/10/q/ni%20usb%206008%20/scope/es/>

<http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/bot/no/ap/global/lang/en/pg/1/ps/10/q/ni%20usb%206009/scope/es/>

<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/20977026?func=ll&objId=20977026&objAction=csView&nodeid0=13740464&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&extranet=standard&viewreg=WW&load=content>

http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos

http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_de_muestreo

http://es.wikipedia.org/wiki/Conversi%C3%B3n_anal%C3%B3gica-digital

<http://www.valvias.com/prontuario-rosca-tornillo-prisionero-allen-din-913.php>

<http://www.houstonbearing.com/pdf/LOVEJOY-JAW.PDF>

http://www.casapellas.com/industr/ntn_docs/CHUMACERAS.pdf

<http://www.terra.es/personal/esm00000/SISTEMA%20ACTIVA.html>

<http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/559/533>

<http://www.citroen.es/CWE/es-ES/AboutCitroen/HISTORY/INNOVATION/SuspensionHydropneumatique/>

http://www.km77.com/marcas/citroen/c5_01/0primera/sumario32.asp

http://www.km77.com/marcas/citroen/c5_01/20hdi-p/sumario3.asp

<http://jose Luis automocion.blogia.com/2008/011012-suspensionadaptativa-a6.php>

http://www.km77.com/marcas/audi/a6_05/avant/sumario3.asp

<http://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=337628&page=7>

<http://www.elmundo.es/papel/hemeroteca/1995/12/05/motor/605692.html>

<http://www.km77.com/tecnica/bastidor/magneride/g01.asp>

<http://blogs.gamefilia.com/f1-borja/16-05-2008/6604/reportaje-f1-tecnologia-de-la-formula-1-1950-2008-actualizado-incluye-image>

http://www.publispain.com/bmw/tecnologia_bmw.htm