



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: JOSÉ ANDRÉS BELTRÁN RUIZ
RICARDO SALOMÓN FERNÁNDEZ PALLO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA CONTROLADO
ELECTRÓNICAMENTE, PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA
DE PATIO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**

**DIRECTOR: ING. JUAN CASTRO
CODIRECTOR: ING. SIXTO REINOSO**

LATACUNGA, SEPTIEMBRE 2014

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICADO

Ing. Juan Castro (DIRECTOR)
Ing. Sixto Reinoso (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE, PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE PATIO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas y estatutos establecidos, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autorizan a los señores: **JOSÉ ANDRÉS BELTRÁN RUIZ** y **RICARDO SALOMÓN FERNÁNDEZ PALLO**, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Septiembre de 2014

Ing. Juan Castro
(DIRECTOR)

Ing. Sixto Reinoso
(CODIRECTOR)

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo: José Andrés Beltrán Ruiz
Yo: Ricardo Salomón Fernández Pallo

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE, PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE PATIO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, ha sido desarrollado con base a una investigación científica, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Septiembre de 2014

José Andrés Beltrán Ruiz
C.I.:1720300936

Ricardo Salomón Fernández Pallo
C.I.:1723514145

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Yo: José Andrés Beltrán Ruiz
Yo: Ricardo Salomón Fernández Pallo

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para que publique en la biblioteca virtual de la institución el trabajo denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE, PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE PATIO DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**, en el que se encuentra contenido, ideas y criterios que hemos desarrollado bajo nuestra exclusiva autoría.

Latacunga, Septiembre de 2014

José Andrés Beltrán Ruiz
C.I.:1720300936

Ricardo Salomón Fernández Pallo
C.I.:1723514145

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro primeramente a mi familia, que gracias a su apoyo constante me han permitido poder culminar una etapa sumamente importante en mi vida y que a pesar de todos los obstáculos han sabido apoyarme y ayudarme a seguir.

José Beltrán

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Laura y Fausto que con su apoyo incondicional supieron guiarme no solo a la culminación de los estudios, sino también para ser un excelente ser humano.

A toda mi familia que de una o de otra forma supieron hacer llegar su apoyo para alcanzar mis metas propuestas, y a mi amigo y compañero de tesis que con su ayuda y esmero logramos culminar nuestro proyecto.

Ricardo Fernández

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mi madre, que quien a pesar de mi forma difícil de ser ha sabido llegar a mí siempre y ayudarme a levantar el ánimo, a pesar de lo difícil que una situación pueda estar.

Agradezco también a todas las personas allegadas a mí, que a pesar de no estar su nombre escrito, gracias a ellos he encontrado una familia, lejos de mi familia.

José Beltrán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma me acompañaron a lo largo de mi preparación profesional, a mi compañero de tesis, y en especial a los docentes que ayudaron a que hoy, me convierta en un ser humano capaz de servir a la sociedad a través del conocimiento que he adquirido durante estos años

A mis padres quienes han sido un apoyo importante para poder culminar esta etapa que me ha llenado de satisfacción.

Ricardo Fernández

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II.....	6
2.1. Sistema de suspensión.....	6
2.1.1 Misión del sistema de suspensión.....	7
2.1.2 Componentes del sistema de suspensión	9
2.1.2.1 Ballestas.....	10
2.1.2.2 Amortiguadores	13
2.1.2.2.1 Amortiguadores hidráulicos convencionales	15
2.1.2.2.2 Amortiguadores monotubo a gas.....	16
2.1.2.2.3 Amortiguadores bitubo a gas.....	17

2.1.3 Suspensión Neumática.....	18
2.1.3.1 Componentes de la suspensión neumática.....	19
2.1.3.2 Suspensión Neumática controlada electrónicamente.....	23
2.1.3.3 Funcionamiento de la suspensión neumática.....	25
2.1.3.4 Sensores del Sistema.....	27
2.1.3.5 Fuelles neumáticos.....	30
2.1.3.6 Ventajas y desventajas de la neumática	33
2.1.3.7 Propiedades del aire comprimido	33
2.1.3.8 Rentabilidad de los equipos neumáticos	34
CAPÍTULO III.....	36
3.1 Requerimientos del sistema de control para la suspensión neumática	36
3.2 Características del sistema	37
3.3 Diseño del sistema neumático	38
3.3.1 Selección del pulmón de aire	38
3.3.2 Selección del compresor.....	43
3.3.3 Selección de las electroválvulas	44
3.4 Modelado de la estructura del banco en SolidWorks	45
3.4.1 Dimensiones de la estructura metálica	52
3.5 Diseño del control electrónico	53
3.5.1 Selección del controlador electrónico	55
3.5.1.1 Selección del PLC	57
3.5.1.2 Selección de las electroválvulas.....	58
3.5.1.3 Selección de la pantalla de control.....	59
3.5.1.4 Selección de los elementos de acople	60
3.5.1.5 Selección de sensores	61
3.5.1.6 Elementos de seguridad.....	62
3.5.2 Diseño del circuito de control automático	63

3.5.3 Diagrama de conexiones del módulo de control electrónico	63
CAPÍTULO IV	64
4.1 Construcción de la estructura de la suspensión neumática	64
4.1.1 Corte y unión del perfil estructural	64
4.1.2 Proceso de soldadura.....	65
4.1.3 Montaje del sistema de suspensión (hojas de ballesta, neumáticos y pulmones de aire).....	66
4.1.4 Montaje de componentes auxiliares (panel de control y piso)	72
4.2 Instalación del sistema de control neumático (mangueras, acoples) ...	75
4.2.1 Ubicación e instalación del grupo de alimentación de aire (Compresor)	77
4.2.2 Instalación de los finales de carrera	78
4.3 Programación del módulo de control electrónico (PLC)	78
4.4 Ensamblaje del módulo de control electrónico de la suspensión neumática	80
4.5 Instalación del sistema electrónico	81
CAPÍTULO V	84
5.1 Verificación de errores de ensamblaje	84
5.2 Pruebas al sistema de control electrónico	85
5.2.1 Prueba del módulo de control.....	85
5.2.1.1 Control manual	89
5.2.1.2 Control automático	94
5.2.2 Prueba de los finales de carrera.....	95
5.3 Acabados finales.....	97
5.4 Capacidad de carga del banco de pruebas.....	97

CAPÍTULO VI	100
6.1 Conclusiones	100
6.2 Recomendaciones	102
6.3 Bibliografía.....	104
6.4 Lincografía	105
ANEXOS.....	106
ANEXO A (TABLA DE DESPLAZAMIENTO DE LOS ACTUADORES).....	107
ANEXO B (TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL ACERO ASTM A36) ...	108
ANEXO C (PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL - PLC)	109
ANEXO D (CONEXIONES – ENTRADAS Y SALIDAS DEL MÓDULO DE CONTROL PLC)	110
ANEXO E (PLANOS DEL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS).....	111
ANEXO F (SIMULACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO EN FESTO FLUIDSIM).....	112
ANEXO G (ESPECIFICACIONES DEL ACTUADOR NEUMÁTICO).....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Disposición del conjunto de suspensión delantera y trasera	7
Figura 2.2 Suspensión de un turismo	8
Figura 2.3 Diferentes oscilaciones en un vehículo turismo	9
Figura 2.4 Composición de una ballesta.....	10
Figura 2.5 Esfuerzos que concurren en una ballesta.....	11
Figura 2.6 Ballesta con hojas semielípticas	12
Figura 2.7 Amortiguadores	14
Figura 2.8 Amortiguador hidráulico convencional	15
Figura 2.9 Amortiguador monotubo a gas.....	16
Figura 2.10 Amortiguadores bitubo a gas	17
Figura 2.11 Sistema de suspensión neumática	18
Figura 2.12 Amortiguador neumático.....	19
Figura 2.13 Esquema de funcionamiento del amortiguador neumático	20
Figura 2.14 Bloque de válvulas electromagnéticas.....	21
Figura 2.15 Grupo de alimentación de aire	22
Figura 2.16 Sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente	25
Figura 2.17 Componentes del sistema de suspensión neumática pilotada ..	27
Figura 2.18 Sensor de presión.....	28
Figura 2.19 Sensor de aceleración	29
Figura 2.20 Sistema de suspensión con fuelle neumático	31
Figura 2.21 Fuelle neumático	32
Figura 3.1 Diagrama de entradas y salidas del módulo	37
Figura 3.2 Compresor	43
Figura 3.3 Electroválvula 4/2 (cuatro vías y dos posiciones)	45
Figura 3.4 Disposición de tubos para la base de la estructura metálica	46

Figura 3.5 Simulación de cordón de soldadura en las esquinas de la base metálica	47
Figura 3.6 Base metálica con refuerzos.....	48
Figura 3.7 Disposición de ballestas en la estructura.....	49
Figura 3.8 Estructura metálica con neumáticos	49
Figura 3.9 Placa de madera.....	50
Figura 3.10 Piso de madera sobre estructura metálica.....	50
Figura 3.11 Ubicación del panel de control.....	51
Figura 3.12 Disposición del módulo de control	52
Figura 3.13 Dimensiones de la estructura metálica	52
Figura 3.14 Pantalla de inicio del programa.....	53
Figura 3.15 Tipos de control a elegir.....	54
Figura 3.16 Programación de la selección individual	54
Figura 3.17 Control Lógico Programable de la marca Xinje.....	56
Figura 3.18 Características del PLC	58
Figura 3.19 Símbolo de una electroválvula 4/2.....	58
Figura 3.20 Terminla programable marca Touchwin.....	60
Figura 3.21 Acople neumático	60
Figura 3.22 Final de carrera mecánico	61
Figura 3.23 Paro de emergencia neumático	62
Figura 3.24 Esquema de conexiones neumáticas	63
Figura 4.1 Tubo cuadrado de acero estructural ASTM A36.....	65
Figura 4.2 Proceso de soldadura de la estructura metálica	65
Figura 4.3 Vista de la estructura metálica finalizada.....	66
Figura 4.4 Colocación de las hojas de ballesta, pernos y placas guías	67
Figura 4.5 Soporte para neumáticos.....	68
Figura 4.6 Conjunto base - neumático	68
Figura 4.7 Base metálica en la cara superior de la hoja de ballesta	69
Figura 4.8 Colocación de los pulmones de aire	69

Figura 4.9 Colocación de hojas de ballesta	70
Figura 4.10 Conjunto para soporte de neumáticos	70
Figura 4.11 Disposición de los ejes motrices	71
Figura 4.12 Conjunto eje - neumático	71
Figura 4.13 Estructura metálica con neumáticos	72
Figura 4.14 Panel de control	72
Figura 4.15 Piso de ,adera.....	73
Figura 4.16 Piso de madera fijado a la estructura del banco	74
Figura 4.17 Piso de madera con forro.....	74
Figura 4.18 Unión neumática con Permatex.....	75
Figura 4.19 Mangueras neumáticas.....	76
Figura 4.20 Electroválvulas neumáticas	76
Figura 4.21 Compresor	77
Figura 4.22 Ubicación de los finales de carrera.....	78
Figura 4.23 Conexión del PLC al PC	79
Figura 4.24 Programación del PLC.....	79
Figura 4.25 PLC Xinje XC3.....	80
Figura 4.26 Herramientas utilizadas en el ensamblaje electrónico	81
Figura 4.27 Perforaciones a la estructura	81
Figura 4.28 Conexiones a los finales de carrera.....	82
Figura 4.29 Conexiones del PLC	82
Figura 4.30 Conexión etiquetada.....	83
Figura 5.1 Cable Rs232 para conexión PLC/Pantalla.....	86
Figura 5.2 Llave para caja del módulo	87
Figura 5.3 Interruptor de encendido y paro de emergencia	87
Figura 5.4 Luz testigo	88
Figura 5.5 Pantalla de inicio.....	88
Figura 5.6 Selección del tipo de control	89

Figura 5.7 Control neumático delantero derecho	90
Figura 5.8 Control del nivel de altura	91
Figura 5.9 Control para dos actuadores a la vez	91
Figura 5.10 Control del nivel de altura para dos actuadores.....	92
Figura 5.11 Control para tres actuadores a la vez	93
Figura 5.12 Control del nivel de altura	94
Figura 5.13 Control del nivel de altura en control automático	95
Figura 5.14 Indicadores de finales de carrera activados.....	96
Figura 5.14 Gráfica Peso-Presión.....	99

RESUMEN

El presente proyecto, tiene como finalidad el diseñar y construir un sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente, este sistema cuenta con un módulo que es el encargado de regular la altura de los diferentes actuadores neumáticos (pulmones de aire), según la conveniencia del operario.

El sistema consta de electroválvulas que regulan la entrada y salida del aire, por lo que el sistema de suspensión incorpora un PLC (control lógico programable), que es el elemento principal del para el control de la suspensión electrónica, ya que este va a ser el encargado de procesar las señales enviadas por los diferentes finales de carrera dispuestos en cada uno de los actuadores neumáticos.

Este sistema de suspensión permite controlar la altura de los actuadores neumáticos en tres diferentes niveles, y mediante la pantalla dispuesta en el panel de control, se puede comandar y visualizar la operación del sistema de suspensión y la posición en la que se encuentran los actuadores neumáticos.

Por lo que, las partes que incorpora el sistema de control electrónico, como los componentes neumáticos utilizados, y la interacción electrónica-neumática son aspectos primordiales para el funcionamiento del sistema y consecuentemente para conseguir el objetivo didáctico del presente proyecto.

ABSTRACT

This project aims to design and build a system of electronically controlled air suspension, this system has a module which is responsible for regulating the height of the various pneumatic (air lungs), the convenience of the operator.

The system consists of solenoid valves that regulate the entry and exit of air, consisting of a PLC (programmable logic control), which is the backbone of the electronic suspension system, as this will be in charge of processing the signals sent by the various limit switches arranged in each of the pneumatic actuators.

This suspension system allows you to control the height of the pneumatic actuators at three different levels, and through the screen provided on the control panel; you can display the command and operation of the suspension system and the position in which they are pneumatic actuators.

The components of the air suspension system, the parties incorporating electronic control systems, pneumatic components used and electronic-pneumatic system for operation, interaction are key aspects to achieve the objective of this project.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Hoy en día la tecnología avanza día a día, esto genera que los fabricantes de automóviles estén en una constante evolución, que no solo se centra en el motor del vehículo, como se lo hacía en otras épocas.

A diferencia de lo anteriormente citado, hoy es primordial la seguridad de los ocupantes del vehículo, por lo que se han implementado sistemas que se denominan de seguridad pasiva (Airbag, Cinturón de Seguridad, Chasis y Carrocería) y activa (ABS, Suspensión Contralada Electrónicamente, Control de Tracción), el primero pretende reducir al mínimo los daños que se pueden producir cuando un accidente es inevitable y el segundo que refleja de aquellos elementos que contribuyen a proporcionar una mayor eficiencia y estabilidad al vehículo en movimiento, y en la medida de lo posible, evitar un accidente, uno de los varios sistemas que comprende la seguridad activa de un automotor es el sistema de suspensión, el cual además de ser un sistema que ayuda a controlar las ruedas del vehículo, también se encarga de proporcionar estabilidad al vehículo, además de confort a los ocupantes del mismo.

La evolución de los sistemas de suspensión crece paralelamente con la evolución de los vehículos. Se diseñaron primero sistemas de suspensión simples que únicamente constaban de ballestas, el cual mejoró el confort en el vehículo, aunque surgieron varios problemas con la implementación de este sistema de suspensión, uno de estos fue que el vehículo perdía

estabilidad, por lo que se introdujeron los resortes helicoidales y las barras de torsión pero como en el anterior sistema de ballestas existieron problemas relacionados con la estabilidad, por lo que se fabricaron amortiguadores, que se encargaban de absorber vibraciones y oscilaciones producidas por otros elementos que componen el sistema de suspensión.

Actualmente aún se incorporan varios de estos elementos que componen el sistema de suspensión en un vehículo, pero según evoluciona la tecnología y se realizan estudios y pruebas se van incorporando otros sistemas de suspensión comandados electrónicamente, entre ellos el sistema de suspensión neumática, que ayudan a mejorar el confort y la estabilidad del vehículo.

1.2. Justificación

El sistema de suspensión neumático pretende aumentar el nivel de confort para los ocupantes del vehículo, también se logra que un mismo vehículo tenga el mejor desempeño en distintos tipos de caminos, de esta manera se puede evitar que el vehículo se estropee al transitar por caminos de segundo o tercer orden.

Otra aplicación importante que se puede destacar de este tipo de sistema de suspensión es que no varía su altura a pesar de la carga que en el automotor se aplique, generando de esta manera mayor seguridad en la conducción.

Se puede apreciar también entre las bondades de este sistema la reducción del desgaste de los neumáticos ya que estos tienen un mejor contacto con la calzada, de esta manera se puede alargar su vida útil, siendo esto muy

importante ya que generaría un ahorro debido a que los periodos de cambio de neumáticos se alargarían.

La implementación de sistemas de seguridad en los vehículos es inevitable por lo que los antiguos sistemas van quedando obsoletos, uno de ellos es el sistema de suspensión. Hoy en día existen varios aditamentos adicionales al sistema de suspensión tradicional, que mejoran el funcionamiento del mismo. Uno de ellos es la incorporación de los sistemas de suspensión neumática, el mismo que consta de un sistema de control electrónico comandado por una unidad de control electrónica (ECU) y un sistema de control neumático que trabaja por medio de aire comprimido.

El desarrollo de este proyecto es importante, ya que la suspensión controlada electrónicamente en el medio ecuatoriano es una tecnología nueva, que puede revolucionar tanto el confort como la seguridad de los ocupantes de un automotor, y además puede ayudar a que la carga llegue en óptimas condiciones a su destino.

Existen varios factores como las imperfecciones de la carretera, el manejo inadecuado de muchos conductores, en ocasiones el conductor del vehículo no conoce el estado de la vía o no existe una señalización adecuada, por lo que existe el riesgo de sufrir accidentes de tránsito, debido a que puede haber una curva demasiado cerrada que le obligaría a maniobrar el vehículo de manera abrupta creando una fuerza inercial al momento de tomar la curva, y un sistema de suspensión tradicional del auto no alcanza el 100% de eficiencia, pese a que la suspensión se encuentre en buenas condiciones. Por ejemplo, al tomar una curva a la derecha, la parte delantera izquierda del auto "baja" al suelo por la presión ejercida sobre ésta, mientras que la llanta trasera derecha "se levanta" del piso.

Debido a esto, la estabilidad del auto es menor que si tuviese las cuatro ruedas al mismo nivel, por la menor fuerza de rozamiento que ofrece el suelo. Entonces el objetivo de la suspensión neumática es mantener el auto lo más estable posible; a simple vista, tener las cuatro ruedas a la misma altura respecto al piso en cualquier situación, logrando un aumento de estabilidad del vehículo.¹

Teniendo en cuenta este problema se es necesario encontrar una solución por lo que se plantea el plan de tesis a fin de obtener un desarrollo académico y social con la aplicación de técnicas y métodos en la implementación del sistema de suspensión neumática controlado electrónicamente en un banco didáctico para el Laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, se pretende brindar una herramienta que permita consolidar los conocimientos en el área de los sistemas automotrices del automotor.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar y construir un banco de pruebas de suspensión neumática controlado electrónicamente, para el Laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la estructura del banco de suspensión neumática.

¹ Narváez, Julio. (2011). Construcción e implementación de un sistema de suspensión neumática inteligente en un vehículo tipo automóvil Mazda 323. Tesis de Ingeniería Automotriz, Espoch, Riobamba. PP. 23

- Construir la estructura del banco de pruebas de suspensión neumática.
- Adaptar los elementos de la suspensión neumática
- Ensamblar el circuito electrónico de la unidad de mando de la suspensión neumática.
- Implementar el módulo de control electrónico en el banco de pruebas de suspensión neumática.
- Comprobar la funcionalidad del banco de pruebas de suspensión neumática.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Sistema de suspensión

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 a los pasajeros un adecuado nivel de confort y seguridad de marcha, y protegiendo la carga y las piezas del automóvil.

El peso del vehículo se descompone en dos partes denominadas: masa suspendida, la integrada por todos los elementos cuyo peso es soportado por el bastidor o chasis, y masa no suspendida, constituida por el resto de los componentes. El enlace entre ambas masas lo materializa la suspensión.

El sistema está compuesto por un elemento flexible (muelle de ballesta o helicoidal, barra de torsión, estabilizador, muelle de goma, gas o aire), y un elemento de amortiguación (amortiguador), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento flexible al adaptarse a las irregularidades del terreno. En la figura 2.1 puede observarse la disposición del conjunto de la suspensión delantera y trasera de un vehículo pequeño.

Son elementos auxiliares o complementarios del sistema de suspensión, los neumáticos y los asientos.²

² Arias Paz, M, "Manual de automóviles", España, (2012), pp. 121

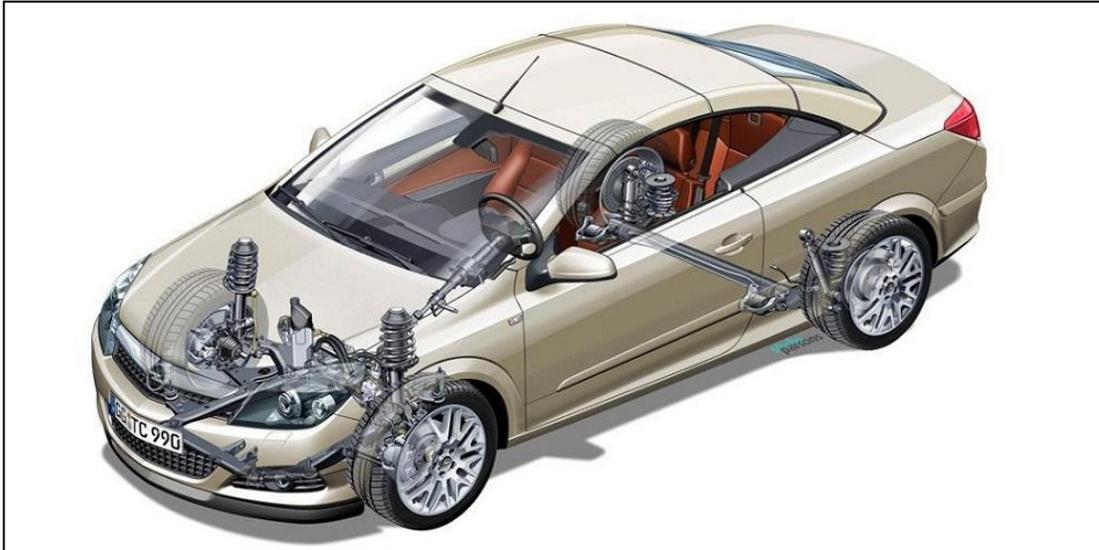


Figura 2.1: Disposición del conjunto de suspensión delantera y trasera

Fuente: Manual de Camiones y Vehículos Pesados

2.1.1 Misión del sistema de suspensión

La finalidad de la suspensión es la de permitir el control de la trayectoria del vehículo gracias a la calidad del contacto rueda-suelo, asegurando la estabilidad en cualquier circunstancia. También ha de garantizar el confort de los ocupantes y de los objetos transportados adaptándose a cualquier superficie. Además también es necesario que cumpla con otras funciones complementarias:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y el chasis.
- 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 perpendicular del chasis
- Soportar la carga del vehículo

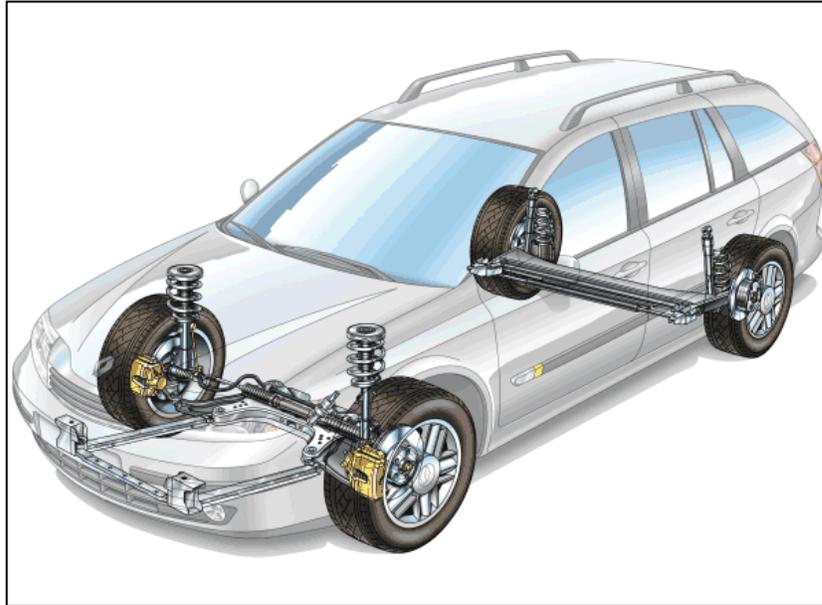


Figura 2.2: Suspensión de un turismo

Fuente: Manual de Camiones y Vehículos Pesados

Cuando un vehículo pasa sobre un resalte o sobre un hoyo, 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 los podemos ver en la figura 2.3, y son:

- Empuje: se produce al pasar por terreno ondulado (a)
- Cabeceo: se produce por frenadas bruscas (b)
- Bamboleo: se genera al tomar curvas a alta velocidad (c)³

³ Garcés, M. (2012). Diseño y Construcción del Sistema de Suspensión para un Vehículo tipo Formula Student, pp. 23

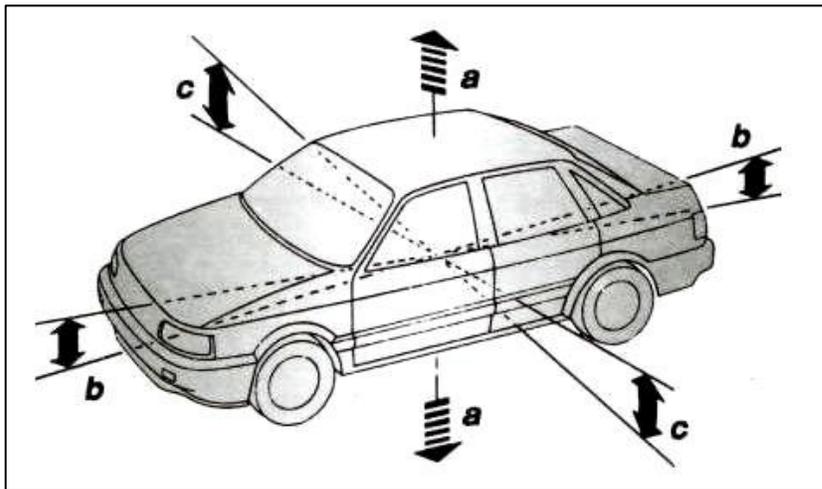


Figura 2.3: Diferentes oscilaciones en un vehículo turismo.

Fuente: Manual de Camiones y Vehículos Pesados

2.1.2 Componentes del sistema de suspensión

Los elementos del sistema de suspensión son aquellos que están interpuestos entre las masas suspendidas y las masas no suspendidas. Por su construcción deben ser elásticos y deformables para poder absorber las irregularidades de la superficie donde el vehículo se mueva, y la amplitud de estas deformaciones tiene que estar limitado en un intervalo definido.

Las masas suspendidas son una parte de la masa total del vehículo la cuál es soportada por la suspensión, incluyendo en algunos casos aproximadamente la mitad del peso de la suspensión misma. Las masas suspendidas típicamente incluyen el chasis, la carrocería y los componentes de los sistemas del vehículo.

Por su parte las masas no suspendidas son las masas de la suspensión, ruedas y en algunos casos los ejes, y los demás componentes conectados

directamente a estos, pero que no están soportados por la suspensión. Las masas no suspendidas incluyen la masa de los componentes como ejes de rueda, rodamientos de rueda, neumáticos y una parte del peso de los cardanes, resortes, amortiguadores, y los brazos de la suspensión. También si los frenos están montados en las ruedas, su masa es considerada parte de las masas no suspendidas⁴.

2.1.2.1 Ballestas

Estos elementos, como todos los muelles, tienen excelentes propiedades elásticas pero poca capacidad de absorción de energía mecánica, por lo que no pueden ser montados solos en la suspensión; necesitan el montaje de un elemento que frene las oscilaciones producidas en su deformación.

Debido a esto, los resortes se montan siempre con un amortiguador de doble efecto.



Figura 2.4: Composición de una ballesta

Fuente: Manual de Camiones y Vehículos Pesados

⁴ Garcés, M. (2012). Diseño y Construcción del Sistema de Suspensión para un Vehículo tipo Formula Student, pp. 35

Las ballestas están constituidas por un conjunto de hojas o láminas de acero especial para muelles, unidas mediante unas abrazaderas que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan.

La hoja superior, llamada hoja maestra, va curvada en sus extremos formando unos ojos en los que se montan unos casquillos de bronce o de goma para su acoplamiento al soporte del bastidor por medio de unos pernos o bulones.

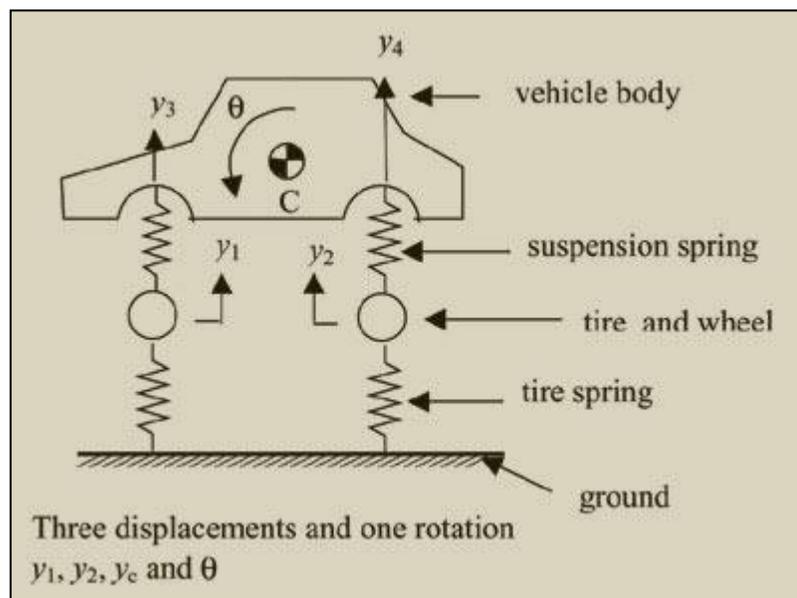


Figura 2.5: Esfuerzos que concurren en una ballesta.

Fuente: Manual de Camiones y Vehículos Pesados

El número de hojas y el espesor de las mismas están en función de la carga que han de soportar. Funcionan como muelles de suspensión, haciendo de enlace entre el eje de las ruedas y el bastidor.

En camiones, además de servir de elementos de empuje, absorben con su deformación longitudinal la reacción en la propulsión y ejercen de elementos de guiado.

Tipos de ballestas

Las ballestas pueden clasificarse en dos grandes tipos:

- Semielípticas.
- Parabólicas.



Figura 2.6: Ballesta con hojas semielípticas.

Fuente: Manual de Camiones y Vehículos Pesados

Las ballestas Semielípticas se llaman así porque sus hojas forman parte de una elipse imaginaria.

Se caracterizan y distinguen por tener las hojas unas en contacto con las otras formando un paquete, que precisa lubricación periódica. Las ballestas parabólicas tienen hojas con forma de parábola. Se distinguen porque sus hojas no se tocan entre sí, existiendo un espacio importante entre unas y

otras. Para compactar las hojas y hacer un conjunto de todas ellas, se intercalan entre ellas unos separadores de material compuesto o nylon.

Las hojas de las ballestas parabólicas son de grosor superior al de las ballestas elípticas. Actualmente son las más utilizadas.

Las ballestas elípticas tienen el inconveniente del rozamiento entre sus hojas, rozamiento que, al ser constante, exige una lubricación periódica con grasa entre hoja y hoja.

Si esta lubricación no se atiende, las hojas se "comen" literalmente entre si y acaban rompiéndose las hojas. En vehículos para grandes cargas se siguen utilizando por su robustez.

En las ballestas parabólicas este problema no existe, puesto que no hay contacto entre hoja y hoja,) el mantenimiento es nulo. Por otro lado, la ballesta parabólica posee una flexibilidad mayor y esto redundará en la comodidad del conductor.

2.1.2.2 Amortiguadores

La misión de los amortiguadores es la de atenuar rápidamente las oscilaciones de la carrocería del automóvil (comodidad), disminuir las variaciones de carga dinámica de la rueda y evitar que salten sobre el suelo de marcha (seguridad de marcha)⁵. El amortiguador se encarga de transformar la energía cinética provocada por las oscilaciones de la rueda en calor. La transformación se realiza a través de la resistencia al flujo de los líquidos, que actúa como un freno a las oscilaciones. Un amortiguador es básicamente un cilindro con un pistón que se mueve dentro de él. El pistón

⁵ GIL MARTINEZ, H., "Manual Práctico del Automóvil: Reparación y Mantenimiento". España: Cultural S.A, pp. 914

posee unas aberturas u orificios internos. El líquido o fluido hidráulico es empujado a través de los orificios a medida que el pistón se mueve dentro del cilindro. Lo cual permite al fluido hidráulico que entre en la cámara de compresión y la cámara de rebote. Hay un tubo de reserva alrededor de la parte externa del cilindro de aplicación en la mayoría de amortiguadores.

Una válvula de toma de compresión ente el cilindro de aplicación y la cámara de reserva controla el flujo de fluido hidráulico entre ellos. El pistón es empujado hacia abajo dentro del cilindro durante la compresión y hacia arriba durante el rebote. La energía absorbida por el amortiguador se convierte en calor, el cual calienta el fluido hidráulico. El calor pasa a través del compartimiento y se dirige hacia el aire alrededor del amortiguador.

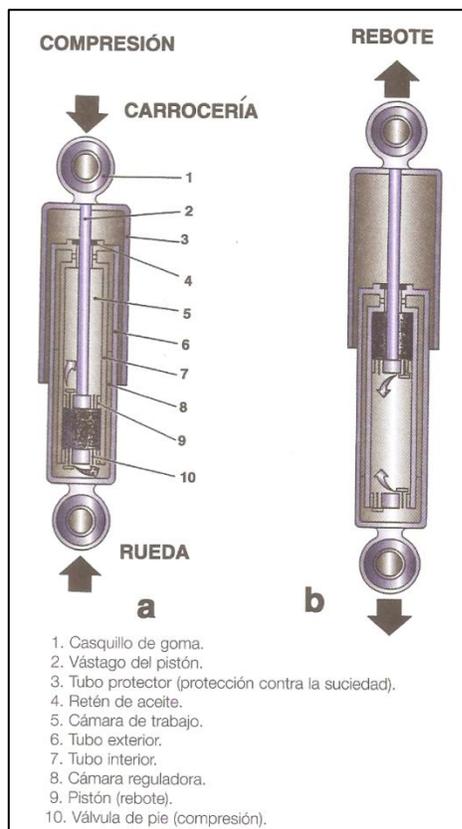


Figura 2.7: Amortiguadores

Fuente: Manual Práctico del Automóvil: Reparación y Mantenimiento

Existen numerosos tipos de amortiguadores, los más utilizados son:

- Los amortiguadores hidráulicos convencionales (monotubo y bitubo)
- Los amortiguadores monotubo a gas de alta presión
- Los amortiguadores bitubo a gas de baja presión

2.1.2.2.1 Amortiguadores hidráulicos convencionales

Son aquellos en que la fuerza de amortiguación, para controlar los movimientos de las masas suspendidas y no suspendidas se obtiene forzando el paso de un fluido a través de unos pasos calibrados, de apertura diferenciada con el fin de obtener la flexibilidad necesaria para el control del vehículo en diferentes estados.

De esta forma la energía cinética se transforma en energía térmica que se disipa en la atmosfera en forma de calor.⁶



Figura 2.8: Amortiguador hidráulico convencional

Fuente: Manual Práctico del Automóvil: Reparación y Mantenimiento

⁶ Extraído el 2 de diciembre de 2013 de: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>

2.1.2.2.2 Amortiguadores monotubo a gas

Estos amortiguadores trabajan bajo el mismo principio básico que los hidráulicos, pero contienen en uno de sus extremos nitrógeno a alta presión (aproximadamente 25 bares).

Un pistón flotante separa este gas del aceite impidiendo que se mezclen y cuando el aceite, al desplazarse el vástago, comprime el gas, este sufre una variación de volumen que permite dar una respuesta instantánea y un funcionamiento silencioso.

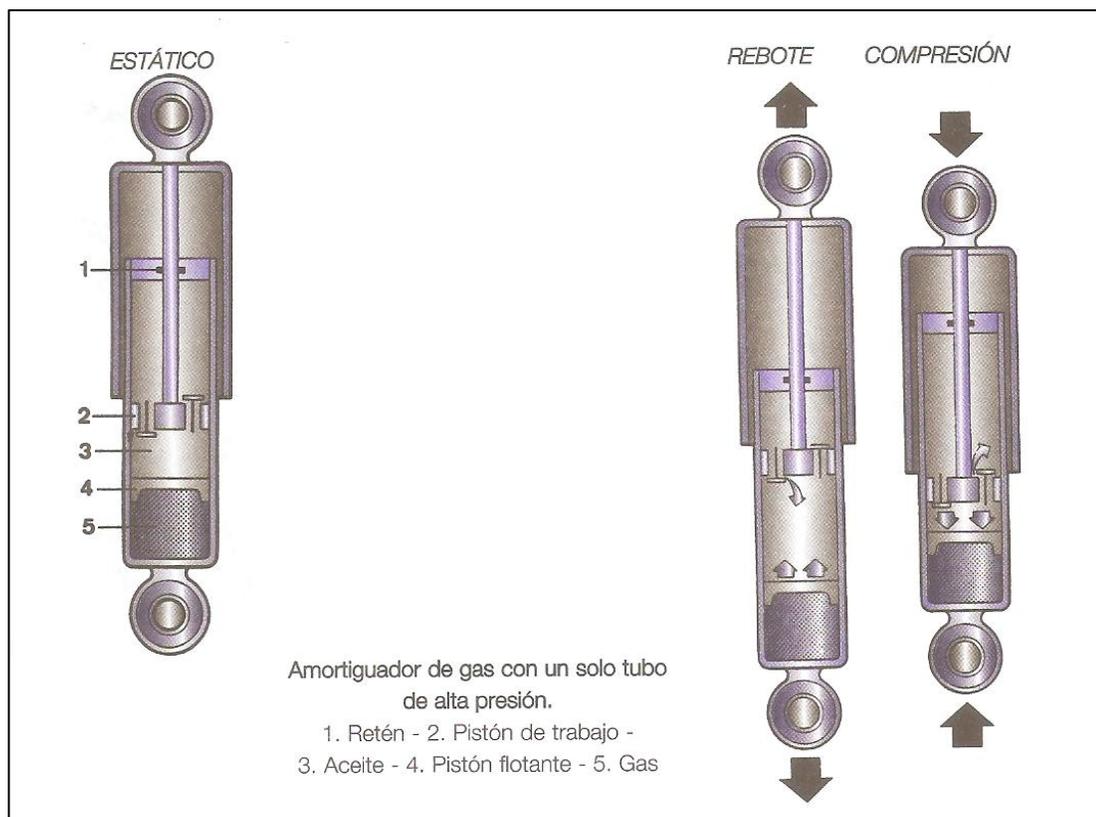


Figura 2.9: Amortiguador monotubo a gas

Fuente: Manual Práctico del Automóvil: Reparación y Mantenimiento

2.1.2.2.3 Amortiguadores bitubo a gas

Este amortiguador es semejante a un amortiguador convencional. En la parte superior del tubo de reserva, el aire a presión atmosférica es sustituido por nitrógeno a una presión de 2,5 a 5 bares.

El retén del aceite que rodea al vástago en la parte superior del cuerpo del amortiguador es de un diseño muy especial. Incorpora un labio que impide la entrada de polvo y dos labios de sellado que impiden el escape de aceite. La base del retén tiene la forma de una banda circular flexible que actúa como válvula antirretorno y permite que el aceite refluya al tubo de reserva, y mantiene la presión del gas exclusivamente sobre el depósito. Es muy importante conservar los amortiguadores en buen estado, ya que de ellos depende que un buen número de elementos mecánicos se mantengan en buen estado y no causen desgastes prematuros.

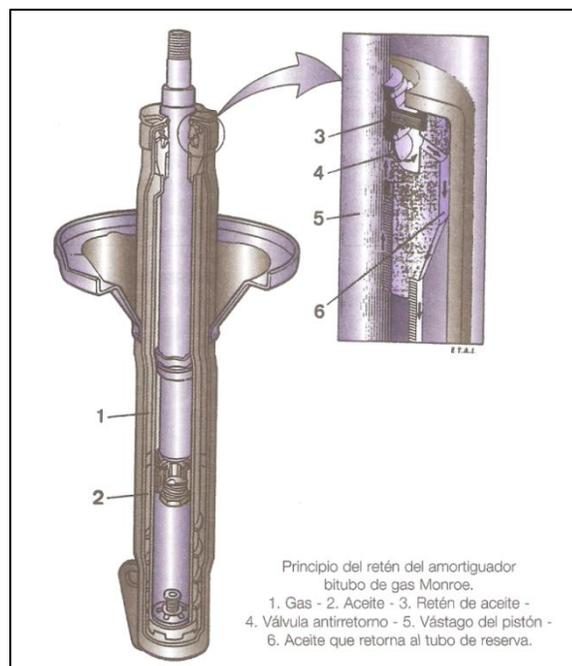


Figura 2.10: Amortiguador bitubo a gas

Fuente: Manual Práctico del Automóvil: Reparación y Mantenimiento

2.1.3 Suspensión Neumática

El sistema de suspensión neumática requiere de resortes de aire para el soporte del automóvil y controlar la altura de la suspensión lateral. El sistema puede utilizarse para controlar únicamente la suspensión trasera o las cuatro ruedas.

Adicionalmente de los resortes de aire, el sistema incluye sensores de altura, unidad de control electrónico (ECU), compresor eléctrico propulsado por el motor, tubería de aire y alambrado.

De acuerdo se presentan los cambios en la carga del automóvil se modifica la altura de la suspensión, los sensores de altura envían información a la ECU para que agregue o expulse aire de los resortes y mantenga la altura lateral del automóvil. Algunos automóviles de tracción de cuatro ruedas poseen la característica de ajuste automático o manual elevando la altura de la suspensión y proporcionar más espacio entre la carrocería y el camino.

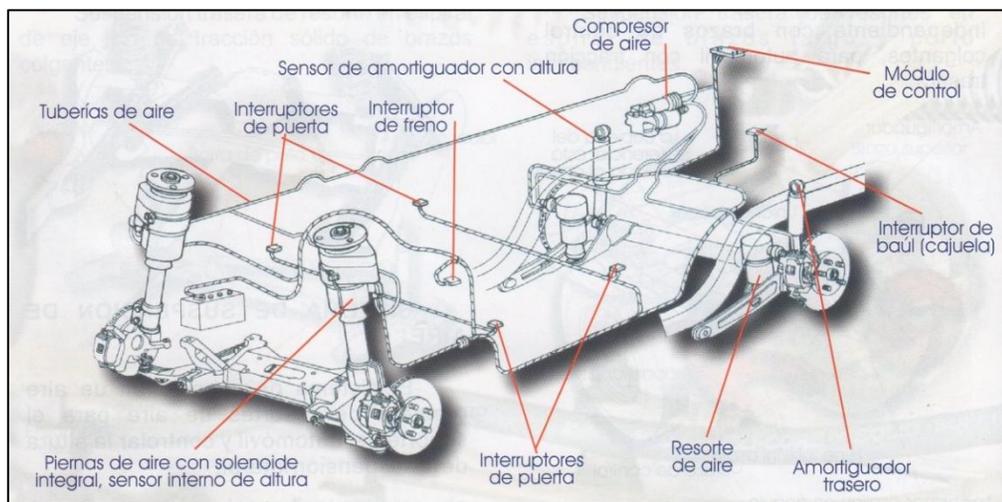


Figura 2.11: Sistema de suspensión neumática

Fuente: Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz (Tomo 2)

2.1.3.1 Componentes de la suspensión neumática

a. Brazo

El brazo de suspensión está formado por dos partes:

- Una neumática que sustituye al muelle de las suspensiones mecánicas convencionales y que sirve principalmente para nivelar la carrocería.
- Una suspensión de reglaje continuo de la amortiguación, que utiliza amortiguadores de tarado variable a través de unas electroválvulas que controlan el paso del aceite.

b. Muelle neumático

El muelle neumático no sólo viene a sustituir al muelle de acero; en comparación con éste ofrece también ventajas esenciales. El nuevo guiado exterior del muelle neumático por medio de un cilindro de aluminio permite reducir el espesor de pared de la valona. Esto se traduce en una respuesta más sensible ante irregularidades del pavimento.⁷

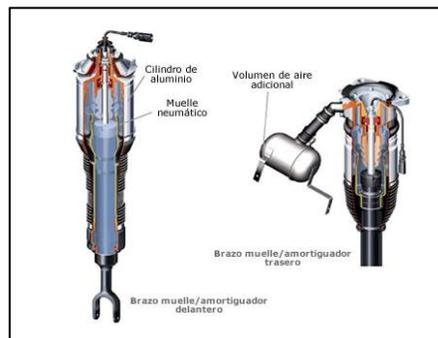


Figura 2.12: Amortiguador Neumático

Fuente: aficionadosalamecanica.net

⁷ Extraído el 2 de diciembre de 2013 de: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension9.htm>

c. Amortiguador

La unidad de émbolo (1) completa se desplaza hacia abajo en el tubo cilíndrico (2), a una velocidad (v). La presión del aceite aumenta en la cámara bajo la válvula amortiguadora principal (3).

La bobina electromagnética (5) recibe corriente. La fuerza electromagnética F_M actúa en contra de la fuerza de muelle F_F y la contrarresta parcialmente.

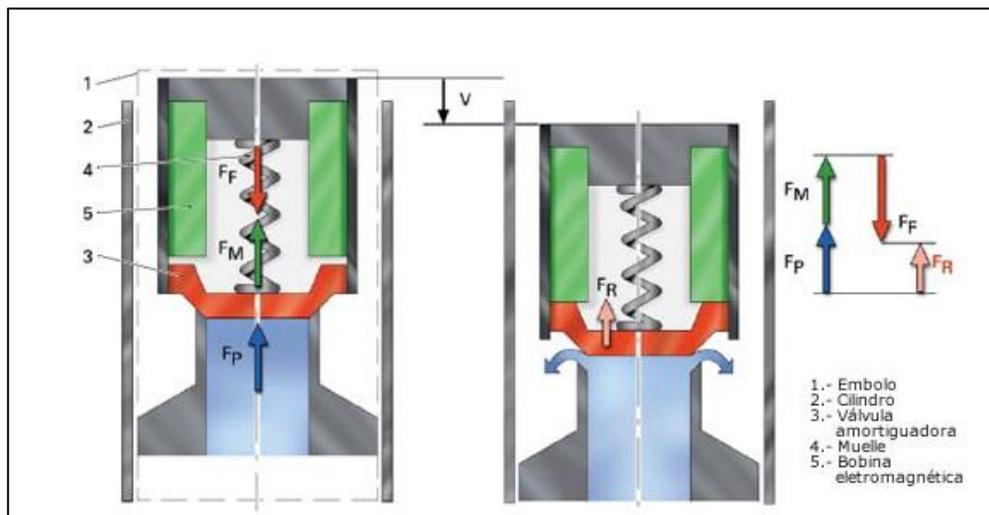


Figura 2.13: Esquema de funcionamiento del amortiguador neumático

Fuente: aficionadosalamecanica.net

d. Bloque de válvulas electromagnéticas

El bloque de válvulas electromagnéticas incluye el sensor de presión y las válvulas para excitar los muelles neumáticos y el acumulador de presión.

Va instalado en el paso de rueda entre el guardabarros y el pilar A en el lado izquierdo del vehículo⁸.

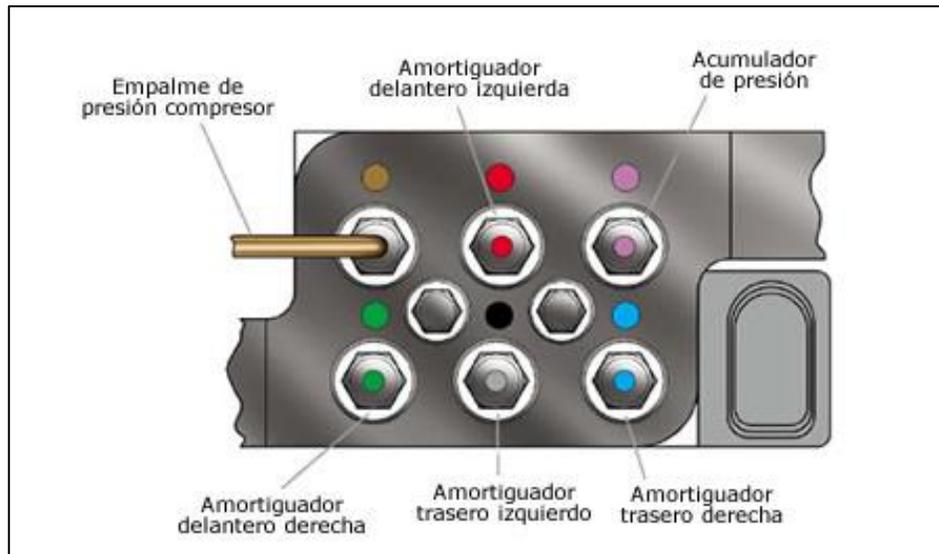


Figura 2.14: Bloque de válvulas electromagnéticas

Fuente: aficionadosalamecanica.net

e. Grupo de alimentación de aire

El grupo de alimentación de aire se instala en la parte delantera izquierda del vano motor. De esta forma se evitan influencias negativas en las condiciones acústicas del habitáculo.

Asimismo se puede realizar así una refrigeración más eficaz. Esto aumenta la posible duración de la conexión para el compresor y la calidad de la regulación. Para proteger el compresor contra un posible sobrecalentamiento se procede a desactivarlo si es necesario (temperatura excesiva en la culata).

⁸ Extraído el 3 de diciembre de 2013 de: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension9.htm>

La presión estática máxima del sistema es de 16 bares.⁹

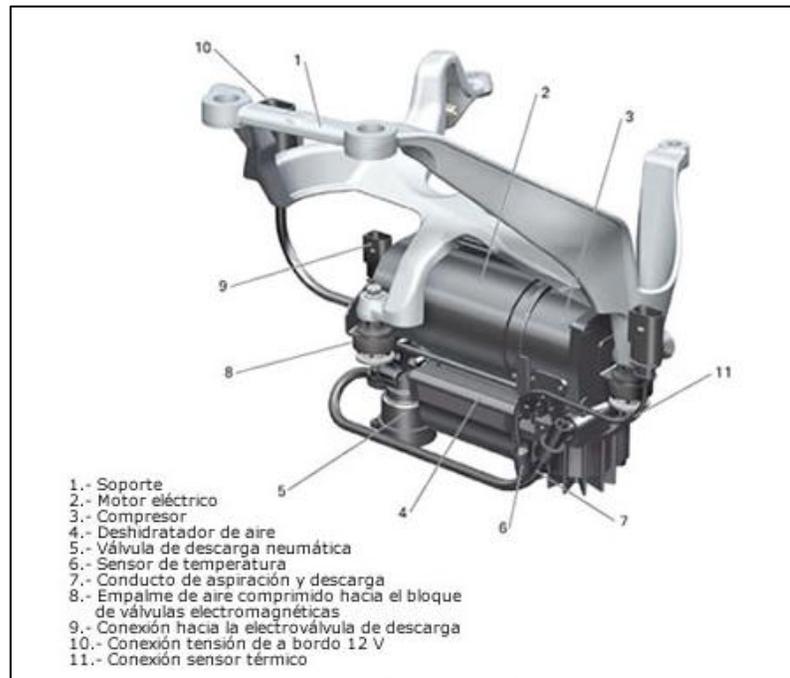


Figura 2.15: Grupo de alimentación de aire

Fuente: aficionadosalamecanica.net

f. Acumulador de Presión

El acumulador de presión se encuentra entre el piso del maletero y el silenciador final, por el lado izquierdo del vehículo.

El acumulador de presión es de aluminio. Tiene una capacidad de 5,8 ltr. y una presión de servicio máxima de 16 bares. El objetivo del acumulador es limitar al mínimo posible la conexión del compresor. Para que los ciclos de regulaciones ascendentes puedan llevarse a cabo exclusivamente a través del acumulador de presión es preciso que exista una diferencia de presión mínima de 3 bares entre el acumulador de presión y el muelle neumático

⁹Extraído el 5 de enero de 2014 de: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension9.htm>

2.1.3.2 Suspensión neumática controlada electrónicamente¹⁰

Las necesidades actuales de los sistemas de suspensión y el avance conjunto de la electrónica han llevado en la actualidad al desarrollo de complejos sistemas de control y gestión de la suspensión.

Uno de ellos es el sistema de suspensión neumática pilotada, existiendo dentro de este sistema existen numerosos tipos de control que supervisan parámetros como carga, altura de carrocería y dureza de amortiguación variable.

La suspensión neumática controlada electrónicamente verifica la consistencia del amortiguador a través de un actuador controlado electrónicamente en la parte superior de cada amortiguador y que modifica las válvulas internas para alterar la velocidad del líquido hidráulico. En el tablero está un interruptor donde el conductor puede seleccionar entre modo suave o duro.¹¹

Componentes

- **Actuadores eléctricos**

Se encargan de controlar las válvulas del amortiguador.

- **Interruptor de control electrónico**

Selecciona el conductor entre modo suave o duro.

¹⁰ Santander Rueda Jesús, "Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz (Tomo 2)". Colombia: Diseli (2005), p.p. 397

¹¹ CALVO MARTIN, J., MIRAVETE DE MARCO, A., "Mecánica del Automóvil Actualizada". España: Servicio de Publicaciones, Centro Politécnico Superior de Zaragoza (2012), p.p. 61

- **Sensor g (gravedad)**

Envía señales a la unidad de control electrónico sobre las modificaciones de las fuerzas de gravedad.

- **Sensor de velocidad**

Envía información a la unidad de control electrónico sobre la velocidad del automóvil.

- **Sensor de velocidad angular de dirección**

Envía información a la unidad de control electrónico sobre el ángulo de la dirección y la velocidad e viraje del timón (volante)¹².

- **Sensor de Posición del Acelerador**

Envía información a la unidad de control electrónico sobre la posición del acelerador.

- **Unidad de Control Electrónico**

Computadora, controla el sistema basada en la información preprogramada y la entrada de los sensores del sistema.

Almacena los códigos de falla y proporciona la capacidad de autodiagnóstico.

¹² Santander Rueda Jesús, Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz (Tomo 2). ED. Diseli (2005), pag. 395-397

Los resortes más comunes son los de membrana en forma de fuelle de doble anillo, mostrado en la figura 2.17, y los de fuelle de desarrollo. Ambos presentan una variación progresiva de la elasticidad mediante la variación de la presión del aire, en todo el recorrido de la suspensión.

La regulación tanto de la presión como de la cantidad de aire que hay en cada instante en los resortes está controlada por válvulas reguladoras que en la actualidad están gestionadas por una unidad de control electrónico.

En la figura 2.17 se muestra un esquema simple de una instalación neumática en la que un grupo de propulsión (1), formado por un compresor accionado por un motor eléctrico, comprime el aire que a su vez es almacenado en un depósito (2). El aire comprimido llega a través de los conductos hasta el resorte de aire de cada rueda (3) a través de una válvula (4) que regula la cantidad de aire que entra o sale del resorte. Tanto el motor, que acciona el compresor, como las válvulas están controlados por una unidad de control electrónico (5).

El funcionamiento de este tipo de suspensión es el siguiente. Cuando una rueda del vehículo sube por efecto de una desigualdad del pavimento, el resorte (3) se comprime por la acción de la membrana (6) que se comporta como un fuelle. Esta variación de volumen provoca un aumento de presión en el interior del resorte, que le obliga a recuperar su posición inicial tras haber pasado el obstáculo manteniendo de esta forma la altura correcta de la carrocería.¹⁴

¹⁴ Extraído el 6 de enero de 2014 de Martín, J (1997), Mecánica del Automóvil. PP61

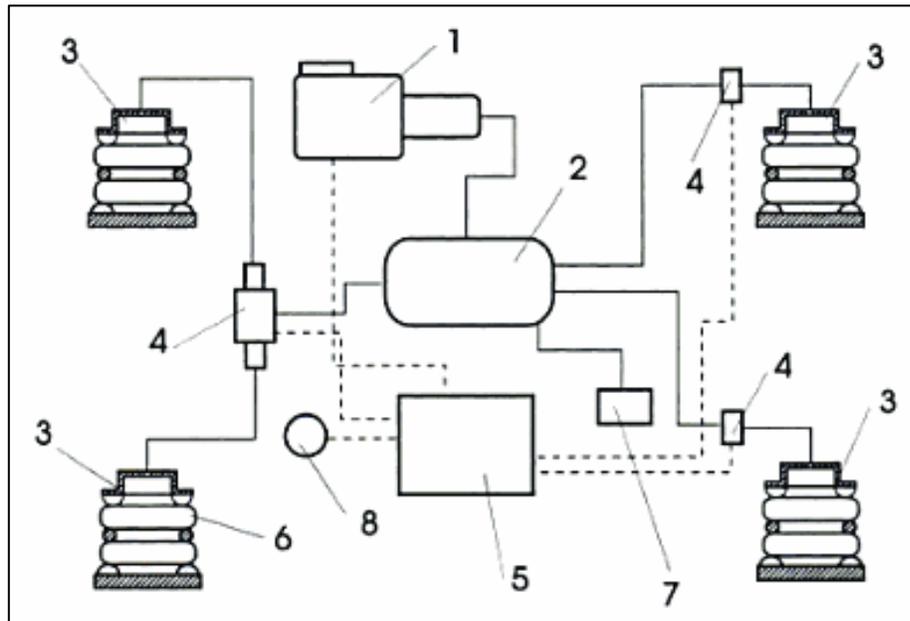


Figura 2.17: Componentes del sistema de suspensión neumática pilotada

Fuente: Mecánica del automóvil actualizada

Cuando se descarga el vehículo la carrocería sube de posición y el aire de los resortes (3) se dilata disminuyendo su presión. El controlador electrónico (5) detecta esta subida de altura de la carrocería mediante el sensor de posición (7) y ordena la apertura de la válvula (4) para que salga el aire del resorte hacia la instalación y disminuya la altura de la carrocería hasta una posición adecuada.

2.1.3.4 Sensores del sistema

a. Sensor de temperatura del compresor

Se trata de una resistencia NTC en un pequeño cuerpo de vidrio. El sensor detecta la temperatura en la culata del compresor. Su resistencia se reduce a medida que aumenta la temperatura (NTC: coeficiente negativo de

temperatura). Esta variación de la resistencia es analizada por la unidad de control. El tiempo máximo de funcionamiento del compresor se calcula en función de la temperatura momentánea.

b. Sensor de presión

Mide las presiones en los brazos telescópicos de los ejes delantero y trasero y en el acumulador de presión. El sensor va empotrado en el bloque de válvulas electromagnéticas y no está al acceso por fuera. El sensor trabaja según el principio de medición capacitiva: La presión (p) a medir produce una desviación en una membrana de cerámica. Debido a ello varía la distancia entre un electrodo (1) instalado en la membrana y un electrodo contrario (2) que se encuentra fijo sobre la carcasa del sensor. Los electrodos constituyen por sí mismo un condensador. Cuanto menor es la distancia de los electrodos tanto mayor es la capacidad del condensador. La capacidad es medida por el sistema electrónico integrado y transformada en una señal lineal de salida. Mediante una excitación correspondiente de las electroválvulas es posible determinar las presiones de los muelles neumáticos y del acumulador.¹⁵

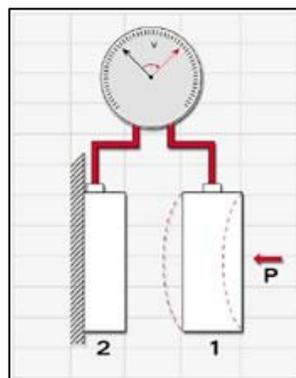


Figura 2.18: Sensor de presión

Fuente: aficionadosalamecanica.net

¹⁵ Extraído el 10 de enero de 2014 de : <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension9.htm>

c. Sensor de aceleración

Para poder ajustar la amortiguación óptima en cada situación es preciso conocer el desarrollo cronológico de los movimientos de la carrocería (masa amortiguada) y de los componentes de los ejes (masa no amortiguada). Las aceleraciones de la carrocería se miden con ayuda de tres sensores. Dos de ellos se encuentran en las torretas de los brazos telescópicos delanteros; el tercero se halla en el guardarrueda trasero derecho. La aceleración de los componentes de los ejes (masas no amortiguadas) se determina por análisis de las señales procedentes de los sensores de nivel del vehículo.

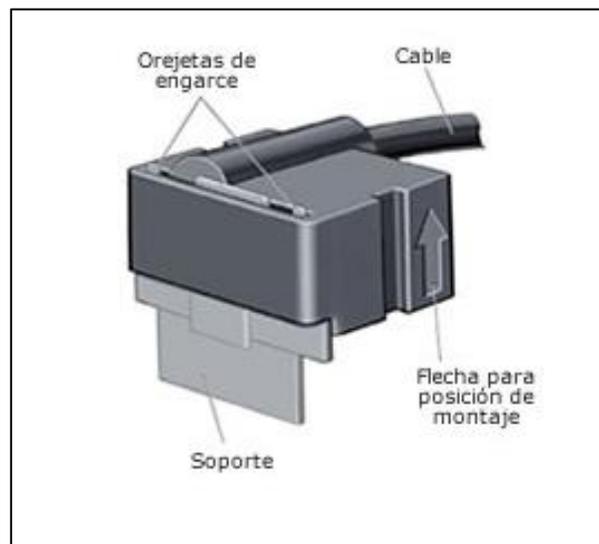


Figura 2.19: Sensor de aceleración

Fuente: aficionadosalamecanica.net

d. Sensores de aceleración de la carrocería

Los sensores van atornillados a la carrocería por medio de soportes. El sensor y el soporte están unidos por medio de engarce. Consta de varias

capas de silicio y vidrio. La capa intermedia de silicio está diseñada en forma de una lengüeta en alojamiento elástico (masa sísmica). La sensibilidad del sensor viene determinada, en esencia, por el coeficiente de rigidez/elasticidad y la masa de la lengüeta.

La masa sísmica con recubrimiento de metal se utiliza como electrodo móvil, que, conjuntamente con el contraelectrodo superior e inferior, constituye respectivamente un condensador. La capacidad de este condensador depende de las superficies de los electrodos y su distancia mutua.

e. Sensores de nivel del vehículo

Los cuatro sensores son de un mismo diseño, mientras que las sujeciones y bieletas de acoplamiento son específicas por lados y ejes.

Los sensores detectan la distancia entre los brazos oscilantes del eje y la carrocería, y con ello la altura de nivel del vehículo. La detección se realiza ahora con frecuencias de 800 Hz (en el allroad 200 Hz). Esta tasa de captación es suficiente para determinar la aceleración de las masas no amortiguadas.

2.1.3.5 Fuelles Neumáticos¹⁶

El fuelle de suspensión es un componente importante de los sistemas de suspensión de aire, que se emplean, por ejemplo, en los ejes de camiones y vehículos industriales. Comparado con los resortes de acero, el fuelle de suspensión proporciona una mayor comodidad. Existen varios tipos de fuelles de suspensión. Por ejemplo, el fuelle arrollable se utiliza preferentemente en autobuses, y los fuelles de cabina conforman la suspensión de las cabinas de camiones y tractores.

¹⁶ Extraído de <http://www.airsprings.de/productoinformacion/luftfederbalg.html> 2014-08-15

A causa de su efectividad, el fuelle de suspensión reemplaza en la industria cada vez más a los tradicionales cilindros neumáticos.

La suspensión neumática sirve en primer lugar para una conducción silenciosa y cómoda, así como para regular la altura del vehículo. La suspensión se efectúa mediante fuelles de suspensión neumática, en los que el aire comprimido durante la compresión y descompresión con presión fluctuante genera la fuerza opuesta a las fuerzas dinámicas de la conducción del eje.

Mediante válvulas de regulación de nivel se regula la presión en los fuelles de suspensión neumática de modo que la altura de vehículo permanezca constante independientemente de la carga que lleve.



Figura 2.20: Sistema de suspensión con fuelle neumático

Fuente: www.euro4x4parts.com

Fundamentalmente, hay dos tipos de fuelles de suspensión neumática: De tipo corrugado y de camisa reversible. Estos últimos pueden estar equipados con o sin pistones. Los fuelles completos de suspensión neumática se suministran listos para su montaje, y cumplen los requisitos de los fabricantes de vehículos y ejes.

Un fuelle neumático es apto para vehículos ligeros, autobuses, camiones y remolques pesados, vehículos ferroviarios y aplicaciones industriales. Referente a las fijaciones y los soportes del fuelle, uno se coloca en el chasis y el otro en la ballesta en cada lado. Luego, monta los tubos y los racores de inflado.

A fin de posibilitar un montaje correcto, hay que prestar atención antes del montaje que los pernos de fijación coincidan con la disposición de los agujeros del vehículo, y los agujeros del émbolo con la placa de fijación. Todos los fuelles de suspensión neumática deben ser instalados y presurizados por personal especializado en dispositivos con limitación de recorrido de muelle, que se hayan previsto y sean adecuados para este propósito.



Figura 2.21: Fuelle neumático

Fuente: www.euro4x4parts.com

2.1.3.6 Ventajas y desventajas de la neumática

A) Ventajas:

- El aire es de fácil captación y abunda en la tierra
- El aire no posee propiedades explosivas, por lo que no existen riesgos de chispas.
- Los actuadores pueden trabajar a velocidades razonablemente altas y fácilmente regulables
- El trabajo con aire no daña los componentes de un circuito por efecto de golpes de ariete.
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente.
- Los cambios de temperatura no afectan en forma significativa.
- Energía limpia
- Cambios instantáneos de sentido

B) Desventajas

- En circuitos muy extensos se producen pérdidas de cargas considerables
- Requiere de instalaciones especiales para recuperar el aire previamente empleado
- Las presiones a las que trabajan normalmente, no permiten aplicar grandes fuerzas

2.1.3.7 Propiedades del aire comprimido

Causará asombro el hecho de que la neumática se haya podido expandir en tan corto tiempo y con tanta rapidez. Esto se debe, entre otras cosas, a que

en la solución de algunos problemas de automatización no puede disponerse de otro medio que sea más simple y más económico.¹⁷

¿Cuáles son las propiedades del aire comprimido que han contribuido a su popularidad?

- **Abundante:** Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- **Transporte:** El aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno.
- **Almacenable:** No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes (botellas).
- **Temperatura:** El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- **Antideflagrante:** No existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario equipo de seguridad.

2.1.3.8 Rentabilidad de los equipos neumáticos

Como consecuencia de la automatización y racionalización, la fuerza de trabajo manual ha sido reemplazada por otras formas de energía; una de éstas es muchas veces el aire comprimido

Ejemplo: Traslado de paquetes, accionamiento de palancas, transporte de piezas. El aire comprimido es una fuente cara de energía, pero, sin duda,

¹⁷ Extraído de: <http://www.monografias.com/trabajos51/equipos-neumaticos/equipos-neumaticos2.shtml> 2013-08-15

ofrece indudables ventajas. La producción y acumulación del aire comprimido, así como su distribución a las máquinas y dispositivos suponen gastos elevados. Pudiera pensarse que el uso de aparatos neumáticos está relacionado con costos especialmente elevados. Esto no es exacto, pues en el cálculo de la rentabilidad es necesario tener en cuenta, no sólo el costo de energía, sino también los costos que se producen en total. En un análisis detallado, resulta que el costo energético es despreciable junto a los salarios, costos de adquisición y costos de mantenimiento.¹⁸

¹⁸ Extraído de: <http://www.monografias.com/trabajos51/equipos-neumaticos/equipos-neumaticos2.shtml> 2013-08-15

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA SUSPENSIÓN NEUMÁTICA

3.1 Requerimientos del sistema de control para la suspensión neumática

El sistema de suspensión neumática instalado en el banco de pruebas se divide básicamente en dos fases, una mecánica la cual se compone de elementos comúnmente utilizados en un sistema de suspensión, y una fase eléctrica y electrónica, en donde se utiliza componentes electrónicos en este caso un PLC va a ser el encargado de almacenar información necesaria para el control del sistema neumático, mediante la ayuda de interruptores se lograra un control manual acorde con las necesidades de los estudiantes, los cuales interactuaran con el sistema de suspensión neumática, controlando de esta manera la altura y la dureza del mismo, identificando así las funciones que cumple en un vehículo real, esta información será enviada al módulo de control electrónico en este caso el PLC, con el fin de controlar el sistema de suspensión instalado en el banco de pruebas.

El módulo de control electrónico recibe la información al presionar los interruptores dispuestos en el tablero de control y se encarga de procesar la información recibida para dar órdenes a los actuadores (electroválvulas y pulmones de aire), para obtener un resultado final que es la determinación del nivel y dureza del sistema de suspensión.

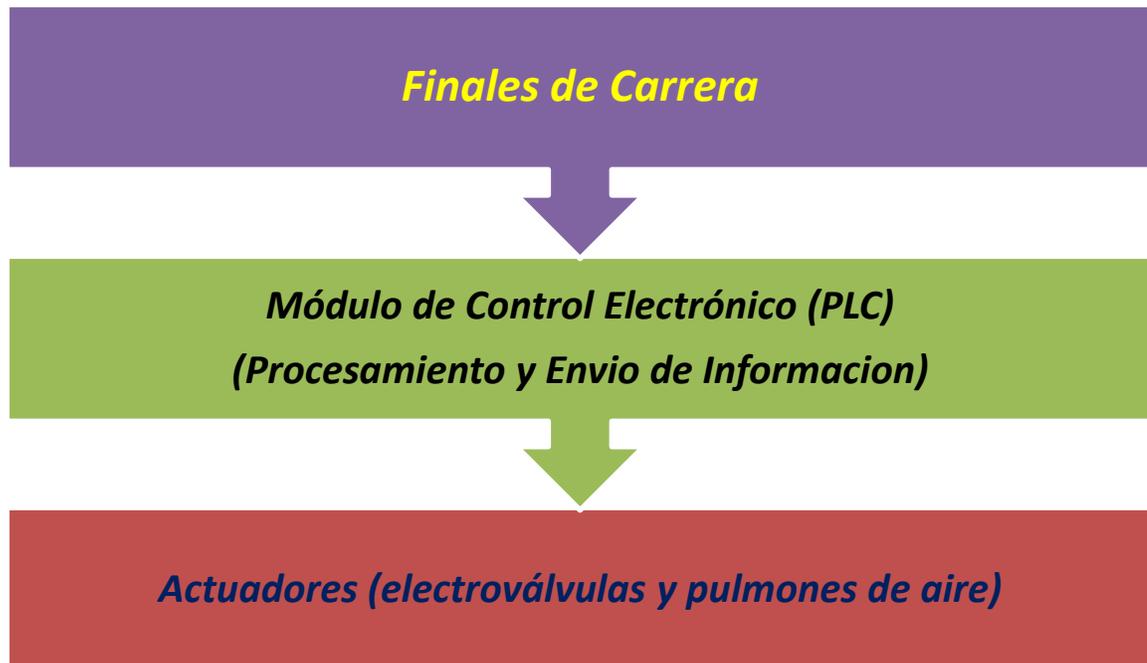


Figura 3.1: Diagrama de entradas y salidas del módulo

3.2 Características del sistema

La principal característica del sistema de suspensión neumática es mejorar la estabilidad y el confort del vehículo, con respecto al sistema de suspensión mecánico convencional. Además, el sistema trabajará en modo manual:

El estudiante tendrá la capacidad de regular la altura del banco de acuerdo a las necesidades de aprendizaje requeridas por el tutor.

En este caso los botones instalados en el tablero de control serán los encargados de regular estas condiciones, al presionar el botón dispuesto en la pantalla principal, el compresor cargará de aire al sistema, permitiendo que los actuadores cumplan su función y variará la altura del banco.

3.3 Diseño del sistema neumático

Para el caso del diseño del sistema neumático se debe tener bien identificado que requerimientos tendrá este sistema, ya que solo de esta manera se puede determinar la funcionalidad de los mismos.

Es importante también la utilización de elementos que se encuentren dentro del presupuesto, ciertos sensores son muy costosos como para emplearlos en el sistema, por lo cual es importante el tener muy en claro cuál va a ser la función y como estos sensores pueden ser reemplazados por otros que cumplan una función similar.

Es importante previo a la adquisición de los diferentes dispositivos neumáticos el dimensionamiento de los mismos, para lo cual podemos utilizar la ayuda de un software.

En este caso se utilizará el Automation Studio, ya que es el más comprensible y el más didáctico para la representación teórica del sistema.

3.3.1 Selección del pulmón de aire

El pulmón de aire es controlado por medio de aire comprimido, se utiliza este tipo de componente, debido a que el sistema de suspensión del banco es independiente en las cuatro ruedas.

Para proceder a la selección del pulmón de aire se toma en cuenta la presión mínima requerida para elevar el banco.

a. Presión mínima requerida para elevar el banco

Para determinar la presión mínima requerida para elevar el banco se procede a tomar los siguientes datos que servirán de ayuda:

- ***Peso del Banco***

El peso del banco vacío (sin pasajeros), para este caso el resultado fue de 200 Kg. Tomando como coeficiente de seguridad el 50% del peso total del banco de suspensión neumática y aduciendo otros factores de carga. Por lo tanto el peso para el cálculo es:

(3.1)

Para realizar el cálculo se divide el peso para cada neumático. En este caso el banco tiene cuatro neumáticos de acuerdo con el diseño que se realizó.

Como es de conocimiento el peso total de un vehículo se distribuye de la siguiente manera: 60% del peso total para la parte delantera y el 40% del peso total para la parte trasera. Esta consideración será tomada en cuenta para el banco de pruebas para el cálculo respectivo:

El resultado obtenido es el peso total del banco distribuido en la parte delantera y posterior del banco, ahora para determinar el peso que va a soportar cada neumático se procede a realizar lo siguiente:

$$\text{---} \quad (3.2)$$

Dónde:

P: Peso

n: Numero de neumáticos

Debido a que el peso de la parte delantera y posterior del vehículo se distribuye para cada neumático respectivamente, entonces se tiene que $n=2$.

$$\text{---} \quad (3.3)$$

$$\text{---}$$

$$\text{---} \quad (3.4)$$

$$\text{---}$$

Dónde:

Pnd: Peso que soporta un neumático delantero

Pnp: Peso que soporta un neumático posterior

Una vez obtenido el resultado del peso en cada neumático, se observa que existe mayor cantidad de peso en la parte delantera del banco, esto se debe a que en la parte delantera en este caso se ha implementado el tablero de control y a más de ello se puede tomar en cuenta el peso del piso de madera, por lo tanto, para el cálculo correspondiente se toma en cuenta el mayor peso obtenido, en este caso es el peso que soporta un neumático delantero (P_{nd}), debido a que las dimensiones del pulmón de aire son las mismas para los cuatro neumáticos, y por ende es necesario que el cálculo se lo realice con el peso máximo que trabajará el sistema de suspensión.

- **Presión de Aire del Sistema**

Para determinar si el pulmón de aire seleccionado va a resistir, es necesario calcular la presión mínima que necesita el pulmón de aire para levantar el peso máximo del banco.

De los cálculos anteriores se deduce que el peso máximo que soporta un lado del banco es 180 Kg. y el espacio en donde va alojado el pulmón es de 12 cm.; este espacio se lo determinó teniendo en cuenta la medida del muelle original.

Para determinar la presión mínima (P_{min}) se utiliza la siguiente ecuación:

(3.5)

—

Dónde:

P_{min} : Presión mínima de trabajo —

F : Fuerza Ejercida =

A : Área mínima (pulg^2)

Datos:

Como datos iniciales se tiene lo siguiente:

$$F = Pnd = 90 \text{ Kg} = 198 \text{ lb}$$

El espacio del que se dispone es de 12 cm, pero para el cálculo se utiliza un espacio de 10 cm, por motivos de seguridad del pulmón, para evitar roces del mismo contra el guardabarros. Este espacio se asume como el diámetro requerido para el cálculo.

$$\text{Diámetro: } \phi = 10 \text{ cm} = 3,93 \text{ pulg}$$

Se tiene:

—

Se calcula el Área (A):

(3.6)

—

—————

Entonces:

—

3.3.2 Selección del compresor

Para la selección del compresor se toma en cuenta la presión que se calcula cuando se selecciona el pulmón de aire, debido a que el compresor alimentara al sistema neumático, y principalmente a los actuadores principales que en este caso van a ser los cuatro pulmones de aire dispuestos en la banco.

En el mercado existen diferentes tipos de compresores, por lo cual se debe elegir el compresor adecuado para el sistema de entre una gran variedad de compresores, en nuestro caso con la ayuda del cálculo realizado se tiene una idea del rango de presión necesario, para así poder tomar la mejor elección y adquirir el compresor que se ajuste a nuestras necesidades y para el correcto funcionamiento del sistema. En el caso puntual de este proyecto se va a emplear el compresor que existe en el laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (figura 3.2). El mismo que cuenta con las siguientes características:



Figura 3.2. Compresor

Características:Tabla 3.1: Especificaciones del Compresor¹⁹

Especificaciones del Compresor	
Tipo	OILLESS
Potencia	5 HP
Voltaje de Trabajo	220 Voltios AC
Máxima Presión	175 PSI

3.3.3 Selección de las electroválvulas

Las electroválvulas necesarias para que funcionen los pulmones de aire son cuatro y a su vez estas son de dos posiciones y cuatro vías.

Ya que de esta manera, se puede controlar la entrada y salida de aire del sistema, y así garantizar que los actuadores cumplan su función tanto de ascenso como descenso.

Cabe destacar que el rango de trabajo de estas electroválvulas es de 220 V. Y que para poder tener un control individual se emplearon cuatro electroválvulas en el sistema (una para cada neumático).

¹⁹ Extraído de: <http://www.aircompressorsdirect.com/Ingersoll-Rand-2340L5.230-1-Air-Compressor/p705.html>



Figura 3.3: Electroválvula 4/2 (Cuatro Vías y Dos Posiciones)

3.4. Modelado de la estructura del banco en SolidWorks

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD.²⁰

Usando este software se modelará el banco de pruebas, desde la estructura metálica hasta los componentes de suspensión neumática que formaran parte del mismo. Se obtendrá el conjunto total del banco, el cual se apreciará

²⁰ Extraído el 15 de marzo de 2014 de: <http://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

paso a paso en el modelado que se presentará. La estructura metálica está compuesta de la manera que se indica en la figura 3.4, se puede apreciar que la base está formada por cuatro tubos cuadrados (ASTM A36), los cuales serán unidos mediante un proceso de soldadura.

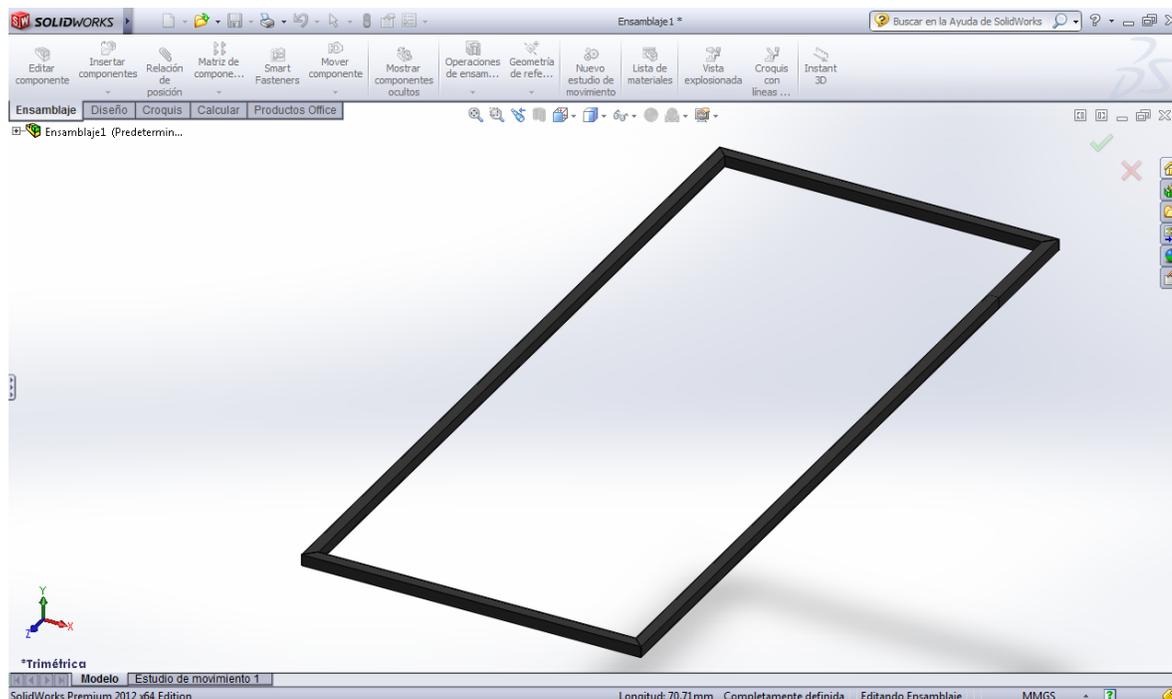


Figura 3.4: Disposición de tubos para la base de la estructura metálica

A paso seguido, con la ayuda del software se procede a colocar cordones de soldadura en las esquinas de la base, para así simular el proceso de unión que se utiliza para su construcción.

En este caso, para lograr la unión del material se ha empleado el proceso de soldadura SMAW²¹, el cual es uno de los más utilizados en nuestro medio y

²¹ Proceso de soldadura por arco eléctrico manual (electrodo revestido)

en la industria automotriz, al brindarnos las condiciones necesarias de trabajo en lo referente a resistencia y durabilidad de la soldadura.

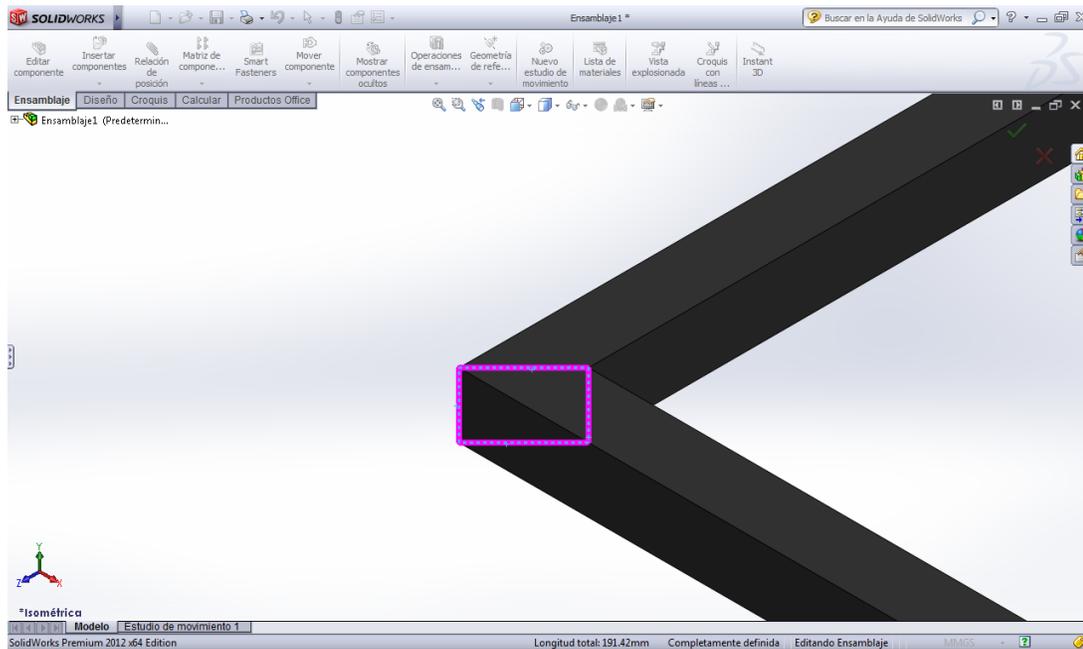


Figura 3.5: Simulación de Cordón de soldadura en las esquinas de las base metálica

Para obtener una mejor resistencia de la base metálica, se colocará refuerzos en la parte interna de las base rectangular, estos refuerzo están dispuestos como se indica en la figura 3.6.

Dichos refuerzos son a su vez dos largueros transversales, logrando así obtener una resistencia mayor en la estructura que brinde la seguridad a los ocupantes que interactuaran con el banco de pruebas y a los elementos adicionales del sistema.

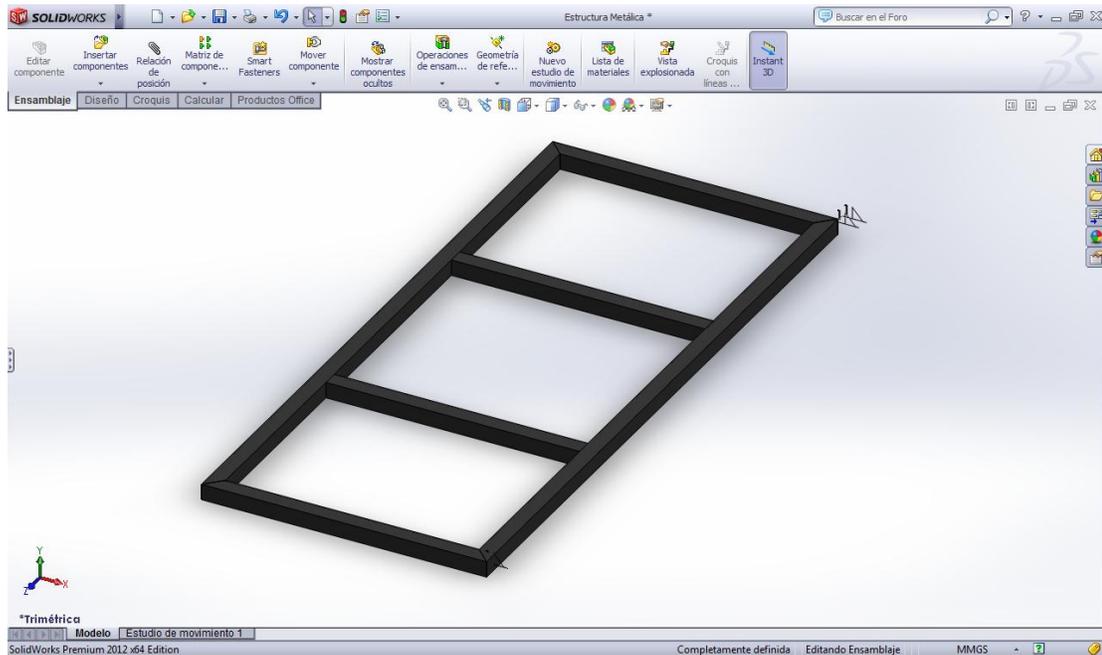


Figura 3.6: Base metálica con refuerzos

De esta manera se ha concluido con la base metálica, este a su vez cumple la función de un bastidor, ya que esta soportara todos los componentes tanto de la suspensión neumática y demás accesorios del banco de pruebas.

A continuación se procede a colocar los componentes de suspensión mecánica, se utilizará hojas de ballestas, en cada neumático.

Para el caso de nuestro proyecto, fue necesario soldar placas de metal en la base metálica, mismas que cumplen la función de guiar las hojas de ballesta, las cuales están dispuestas como se indica en la figura 3.7, y además son el elemento esencial del mecanismo de desplazamiento de los actuadores, pero esto se lo tratará con mayor detalle más adelante.

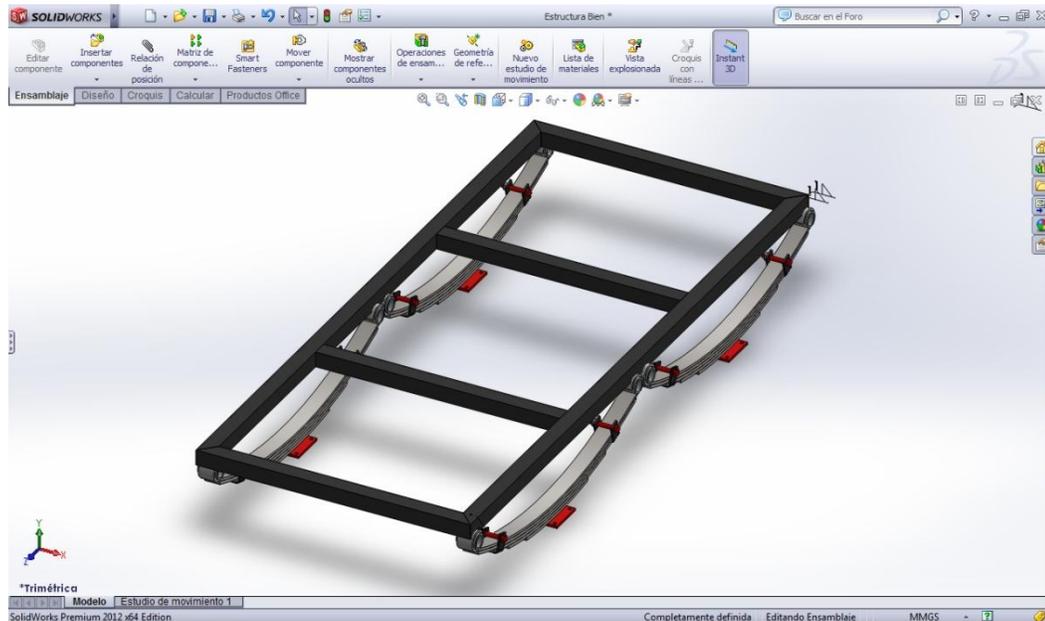


Figura 3.7: Disposición de ballestas en la estructura

A continuación se procede a ubicar los cuatro neumáticos que tendrá el banco de suspensión, los cuales serán los encargados de ser el apoyo del mismo en el suelo.

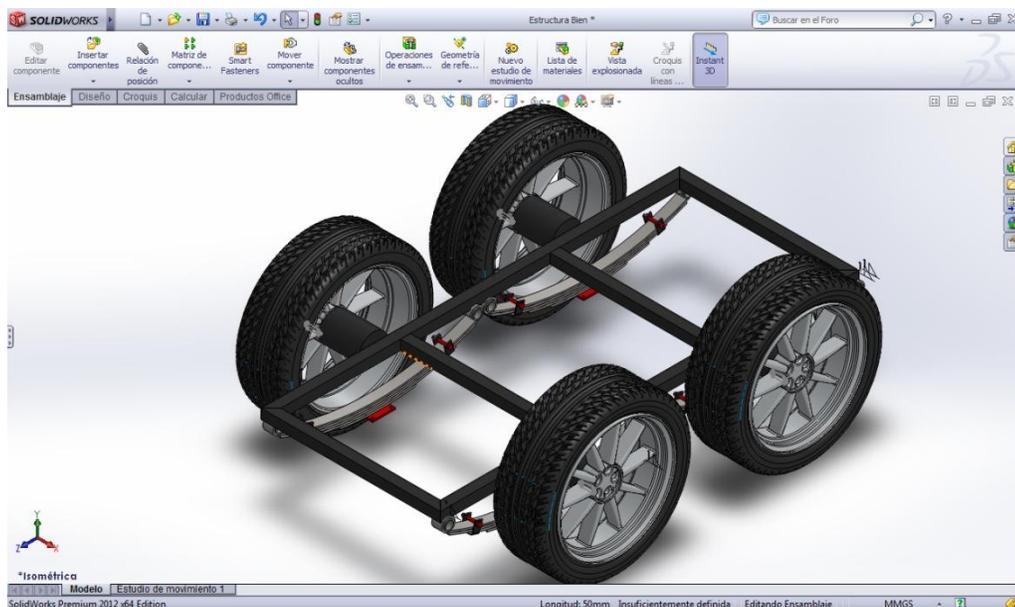


Figura 3.8: Estructura metálica con neumáticos

A continuación, se procede a colocar una placa de madera (2100 x 900) mm y de un espesor de 15 mm en la parte superior del banco, esta servirá de soporte del asiento, cabina y demás componentes del banco.

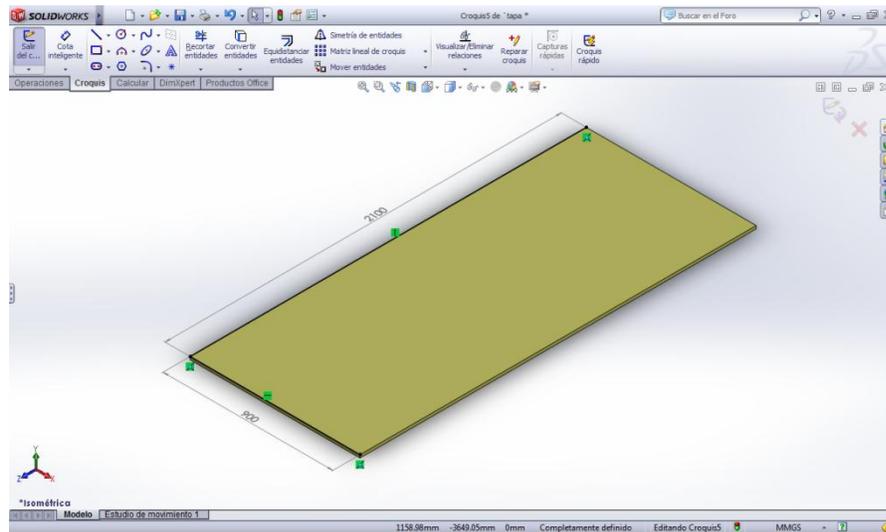


Figura 3.9: Placa de madera

Está en si viene a ser la estructura básica del banco de pruebas, a continuación se procede a colocar el piso de madera para los ocupantes que subirán al banco para realizar las distintas pruebas.

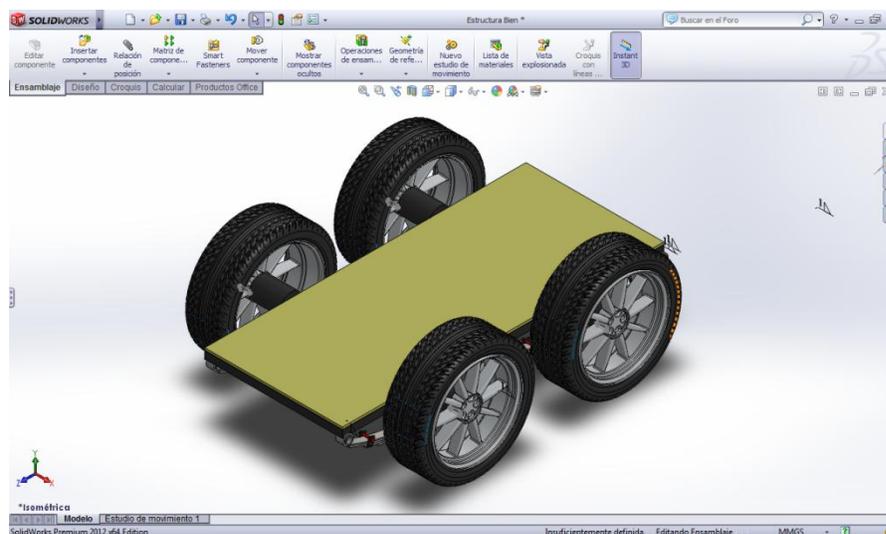


Figura 3.10: Piso de madera sobre estructura metálica

A continuación se colocará el panel de control fabricado en madera el cual servirá de soporte del conjunto electrónico de control (PLC) y sus demás componentes internos, así como también contendrá en su interior el bloque de electroválvulas neumáticas, necesarias para el funcionamiento de los actuadores, este panel a demás dispondrá de una sección hueca en su parte superior, para colocar el módulo de control electrónico.

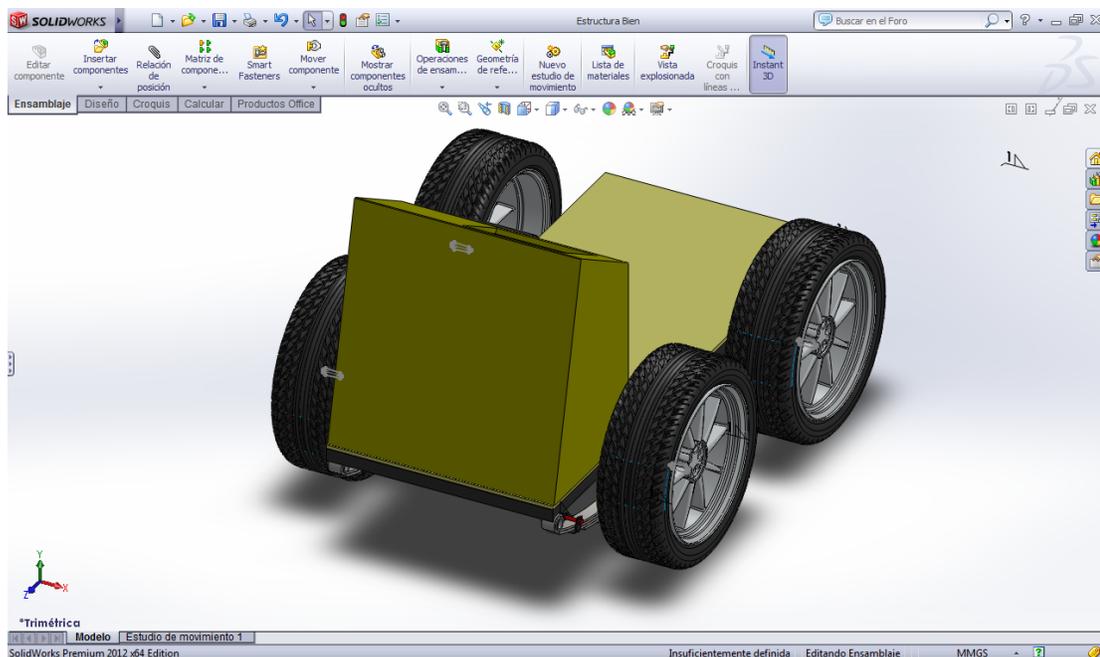


Figura 3.11: Ubicación del panel de control

A paso seguido se colocará dentro de la sección hueca, la caja que contiene los componentes electrónicos, a más de esto en la parte superior de dicha caja, se dispone de una pantalla interactiva, esta será manejada por el estudiante, le permitirá interactuar con el sistema de suspensión neumática y sus distintas funciones mencionadas anteriormente.

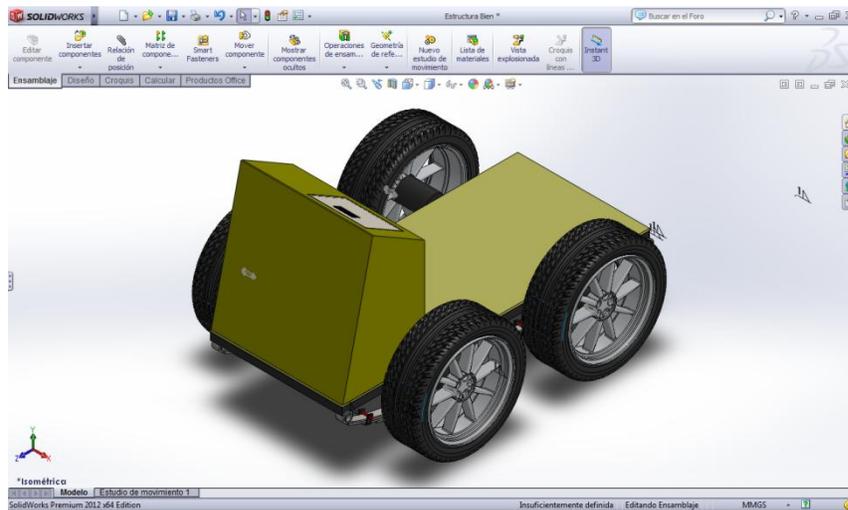


Figura 3.12: Disposición del módulo de control

3.4.1. Dimensiones de la estructura metálica

La estructura metálica es de forma rectangular, formada por cuatro tubos cuadrados (50x50) (ASTM A36), de 3 mm de espesor, a más de ello como refuerzos se implementó dos largueros transversales en la parte media, esto para garantizar que la estructura brinde seguridad y resistencia a los ocupantes del banco. Las medidas dadas en milímetros, en este caso largo, ancho y dimensiones de los largueros se muestran en la figura 3.13.

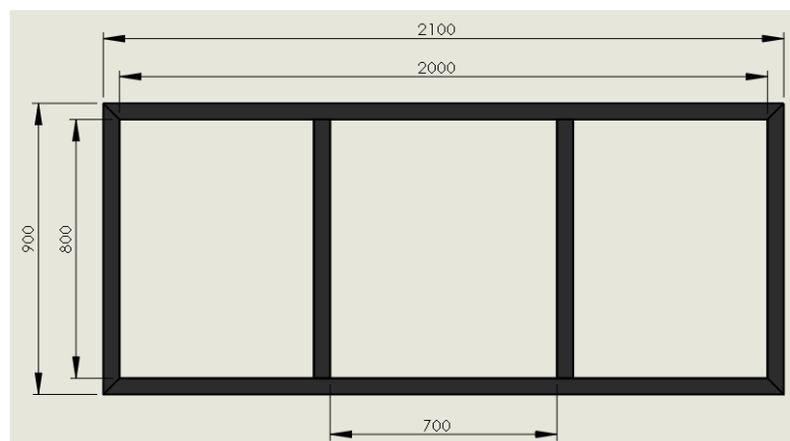


Figura 3.13: Dimensiones de la estructura metálica

3.5 Diseño del Control Electrónico

Para el diseño del control electrónico, se debe tener en cuenta cuales van a ser las necesidades del sistema, una vez identificadas las mismas se puede proceder a realizar un bosquejo del trabajo que se espera obtener. En este caso se necesita que se controle las ruedas por separado en tres diferentes alturas y también se necesita que al presionar un solo botón las cuatro ruedas puedan ser reguladas su posición al mismo tiempo.

A continuación se detallan la forma en que se trabaja con la pantalla para el control electrónico:

- El diseño de control electrónico se inició desde la interfaz que mostrará la pantalla ubicada en el panel de control del banco de pruebas.
- Mediante la ayuda del software OP Series Edit Tool, se diseñó las pantallas con las que interactuará el usuario para el control electrónico de los actuadores. Dichas pantallas se muestran a continuación:



Figura 3.14: Pantalla de inicio del programa



Figura 3.15: Tipos de control a elegir

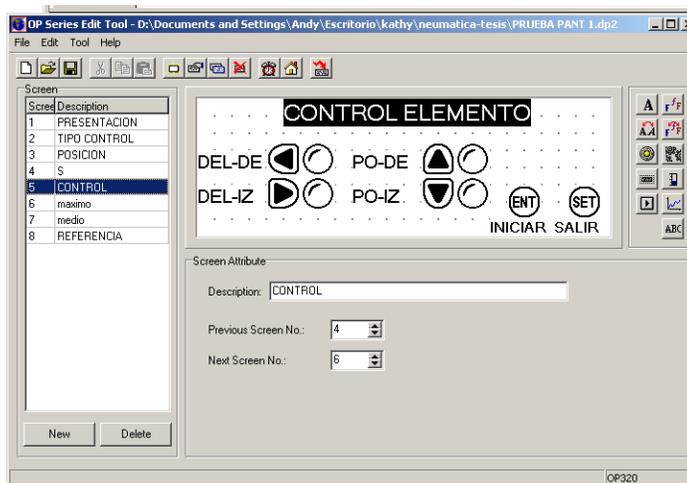


Figura 3.16: Programación de la selección individual

- Una vez finalizado el diseño de la interfaz del control del usuario, se procede con la programación del PLC y a su vez con la ubicación de los diferentes sistemas de control neumático, mismos que deben ser gobernados por el PLC.
- Identificados los elementos y su posicionamiento, es necesario el dimensionarlo, por lo que se necesita la ayuda de software adecuados para ese trabajo, que en nuestro caso para la programación del PLC

se utilizó el programa XCPPro, y para el caso de los elementos neumáticos y su control, se utilizó el Automation Studio.

- A continuación podemos apreciar la selección de cada uno de los componentes que fueron usados en nuestro proyecto.

3.5.1 Selección del controlador electrónico

Los primeros PLC fueron diseñados para reemplazar los sistemas de relés lógicos. Estos PLC fueron programados en "Lenguaje Ladder", que se parece mucho a un diagrama esquemático de la lógica de relés. Este sistema fue elegido para reducir las demandas de formación de los técnicos existentes. Otros autómatas primarios utilizaron un formulario de listas de instrucciones de programación.

Los PLC modernos pueden ser programados de diversas maneras, desde la lógica de escalera de relés, a los lenguajes de programación tales como dialectos especialmente adaptados de BASIC y C. Otro método es la lógica de estado, un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programar PLC basados en diagramas de estado.

Funciones

La función básica y primordial del PLC ha evolucionado con los años para incluir el control del relé secuencial, control de movimiento, control de procesos, Sistemas de Control Distribuido y comunicación por red. Las capacidades de manipulación, almacenamiento, potencia de procesamiento y de comunicación de algunos PLC modernos son aproximadamente equivalentes a las computadoras de escritorio. Un enlace-PLC programado combinado con hardware de E/S remoto, permite utilizar un ordenador de sobremesa de uso general para suplantar algunos PLC en algunas

aplicaciones. En cuanto a la viabilidad de estos controladores de ordenadores de sobremesa basados en lógica, es importante tener en cuenta que no se han aceptado generalmente en la industria pesada debido a que los ordenadores de sobremesa ejecutan sistemas operativos menos estables que los PLC, y porque el hardware del ordenador de escritorio está típicamente no diseñado a los mismos niveles de tolerancia a la temperatura, humedad, vibraciones, y la longevidad como los procesadores utilizados en los PLC.

Además de las limitaciones de hardware de lógica basada en escritorio; sistemas operativos tales como Windows no se prestan a la ejecución de la lógica determinista, con el resultado de que la lógica no siempre puede responder a los cambios en el estado de la lógica o de los estado de entrada con la consistencia extrema en el tiempo como se espera de los PLC. Sin embargo, este tipo de aplicaciones de escritorio lógicos encuentran uso en situaciones menos críticas, como la automatización de laboratorio y su uso en instalaciones pequeñas en las que la aplicación es menos exigente y crítica, ya que por lo general son mucho menos costosos que los PLC.²²



Figura 3.17. Control Lógico Programable, de la marca Xinje

Fuente: <http://es.aliexpress.com/item/Xinje-XC3-serie-PLC>

²² Extraído de: http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable 2014-06-15

Ventajas

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales.

Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo.

Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLC, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos cualificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.²³

3.5.1.1 Selección del PLC

P.L.C. (Control Lógico Programable).- Este dispositivo electrónico se lo utiliza para automatizar el funcionamiento de las electroválvulas, de esta manera el PLC, capta las señales de los sensores (finales de carrera), a estas señales las procesa según el programa y envía según la necesidad, órdenes a las electroválvulas para que estas permitan el paso de aire hacia los actuadores neumáticos (pulmones de aire), y así estos mantengan el aire en su interior o permitan la salida del aire hacia la atmósfera.

El PLC utilizado para realizar el control tanto individual y colectivo de los actuadores neumáticos, es de Marca Xinje, y a continuación se indican sus principales características:

²³ Extraído de: http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable 2014-06-15

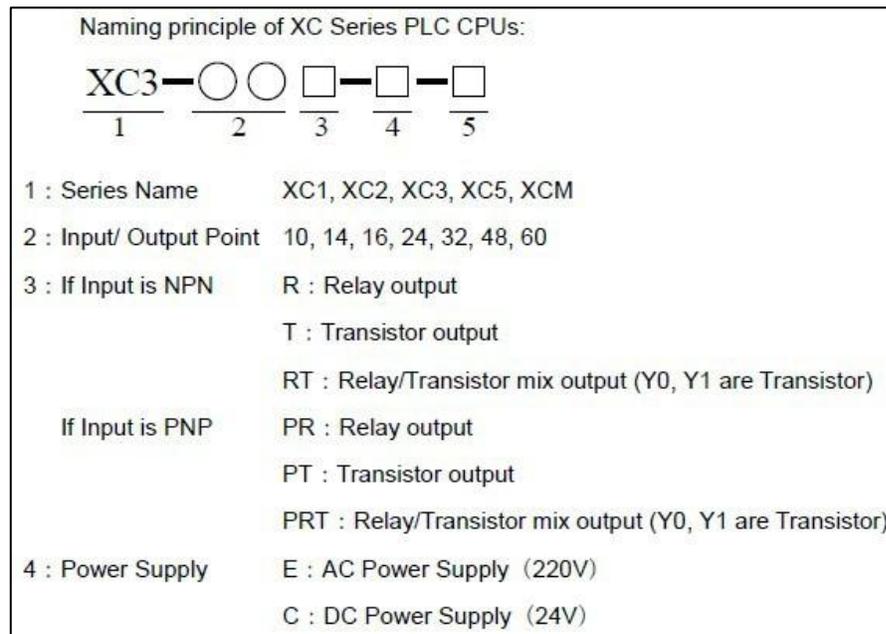


Figura 3.18: Características del PLC

Fuente: <http://es.aliexpress.com/item/Xinje-XC3-serie-PLC>

3.5.1.2 Selección de las Electroválvulas

En el caso del control electrónico por los valores de operación de las electroválvulas se decidió trabajar con un PLC, ya que las electroválvulas necesitan un voltaje de trabajo de 220 V para poder operar.

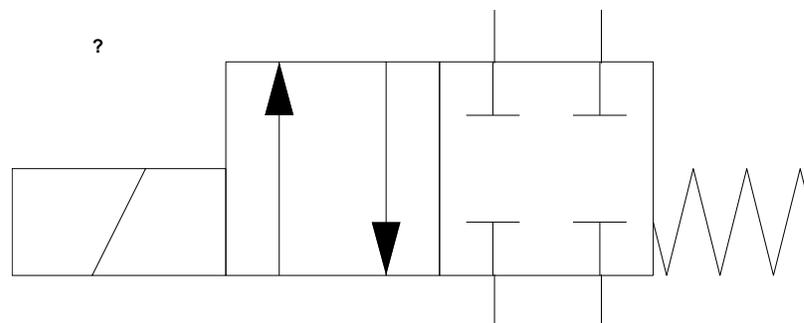


Figura 3.19: Símbolo de una electroválvula 4/2

Fuente: Automation Studio 5.0

Se necesitaron cuatro electroválvulas de este tipo para poder realizar el control individual de las ruedas, la ventaja que nos ofrece este tipo de válvulas son: su tamaño muy compacto y permiten una regulación del caudal de entrada y de salida de aire al sistema.

3.5.1.3 Selección de la Pantalla de Control

Terminales Programables

Los terminales programables, llamados también terminales de operador, son visualizadores provistos de teclados, que permiten la comunicación entre el control de la máquina (PLC) y el operador, proporcionando información al usuario y permitiendo a éste controlar la máquina, además, proporcionan resúmenes del estado de la máquina, alarmas y gráficos. Bien por pantalla o impresora²⁴

- **Pantalla Xinje Touchwin de 3.7" OP 320-S**

Descripción:

- LCD monocromo de 3,7 pulgadas, de 7 teclas.
- Conveniente para los varios PLC, como Siemens, Xinje.
- Muestra texto dinámico.
- Lista de información con alarmas.
- Algunas presas clave se pueden definir como las teclas de función
- Con retroiluminación LCD STN.

²⁴ Extraído de: www.etitudela.com/celula/downloads/apuntesdeprogramaciondelant.pdf 2014-07-02



Figura 3.20: Terminal programable marca Touchwin

3.5.1.4 Selección de los elementos de acople

En el caso de los elementos utilizados para el acople de las mangueras y de las electroválvulas se utilizaron elementos de bronce, tales como "t", acoples con rosca interna y acoples con rosca externa.



Figura 3.21: Acople neumático

En el caso del ingreso del aire se utilizó un acople rápido, ya que este permite una rápida conexión y desconexión del sistema, además para poder brindar un correcto mantenimiento se utilizó una unidad deshidratadora, que a su vez cuenta con una válvula controladora de presión, de esta manera se asegura que la humedad que se contiene en el aire no afecte a los componentes ya que esta humedad se queda en la unidad deshidratadora.

3.5.1.5 Selección de los sensores

Para el control de la altura que se realiza con la unidad de control, se utilizaron finales de carrera del tipo mecánico, normalmente abiertos.

Estos finales de carrera nos ayudan a identificar la altura del sistema, ya que dependiendo de esta el final de carrera se cerrará por acción del perno principal del sistema que guía a la ballesta, y de esta manera el PLC será capaz de censar la ubicación del mecanismo y así identificar la altura del banco de pruebas. Se utilizaron estos finales de carrera como sensores analógicos, debido a su bajo costo y a su fácil instalación.

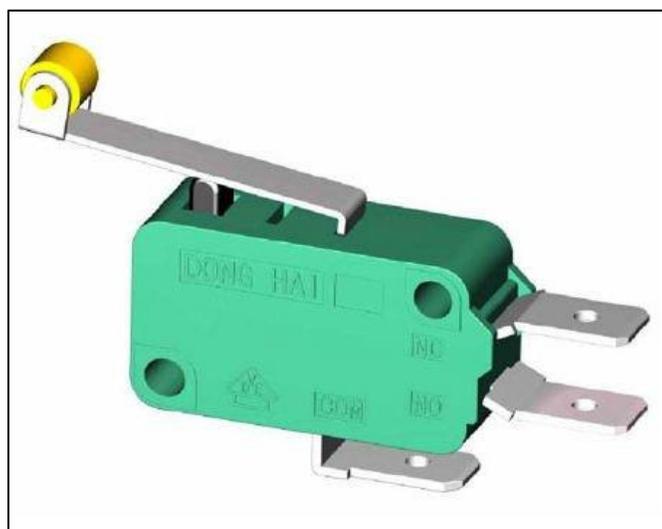


Figura 3.22: Final de carrera mecánico

3.5.1.6 Elementos de seguridad

Es necesario que el sistema precautele la integridad de quien los está utilizando, del entorno que lo rodea y de sus propios componentes, es por esta razón que se colocó un paro de emergencia, este elimina la energía eléctrica en el circuito permitiendo así reaccionar de manera rápida ante una emergencia.

Para el caso del banco de pruebas se utilizó un paro de emergencia del tipo neumático, el cual para su accionamiento es necesario que el operario pulse el botón rojo (figura 3.17) y lo gire hacia el lado derecho, logrando con este que el sistema suspenda su funcionamiento en casos de emergencia.



Figura 3.23: Paro de emergencia neumático

3.5.2 Diseño del circuito de control neumático

El diseño del sistema de control neumático se lo implemento con la ayuda del software Automation Studio 5.0, mismo que se aprecia en la figura 3.24, la simulación del sistema neumático se detalla en el Anexo F, el cual consta de cuatro actuadores neumáticos, cuatro electroválvulas, y de 12 finales de carrera (tres por cada actuador).

En el diseño del control neumático, se ponen reguladores de caudal, mismo que pueden ser encontrados en las electroválvulas.

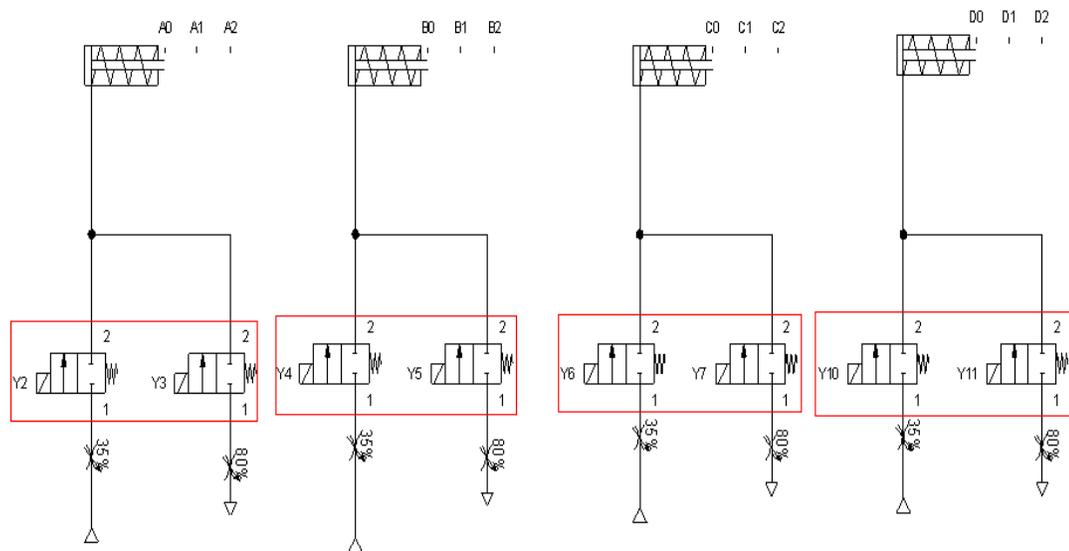


Figura 3.24: Esquema de conexiones neumáticas

3.5.3 Diagrama de conexiones del módulo de control electrónico

El PLC, de marca Xinje y modelo XC3, consta de 14 Entradas y 18 salidas, los planos de las conexiones, se los detalla en el Anexo D.

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE COMPONENTES

4.1. Construcción de la estructura de la suspensión neumática

4.1.1 Corte y unión del perfil estructural

Para el proceso de construcción de la estructura metálica del banco se ha seleccionado el tubo de acero estructural ASTM A36²⁵ 50 x 50 y 3 mm de espesor, acorde a los planos y diseño del banco establecido en el capítulo anterior se procederá a la medición y corte del tubo de acero estructural para la construcción de la estructura metálica.

Se procede a formar la estructura base de forma rectangular, formada por cuatro tubos de acero estructural, una vez dispuestos los cuatro tubos, en la forma requerida, están listos para su posterior unión con el proceso de soldadura adecuado.

Dentro del proceso de corte y unión de los tubos de acero estructural, se procede al corte de los largueros y los dos tubos adicionales que formaran la X en el centro de la estructura, esto dará mayor resistencia a la estructura del banco.

Finalizado el proceso de corte y unión de la estructura, se procederá a la fijación de los mismos, mediante el proceso de soldadura adecuado que nos brinde la garantía de resistencia y durabilidad de la estructura.

²⁵ Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atomilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.



Figura 4.1: Tubo cuadrado de acero estructural ASTM A36

4.1.2 Proceso de Soldadura

A continuación se procede a soldar parte por parte hasta obtener la forma requerida, esto se lograra mediante el proceso de soldadura SMAW (Por arco eléctrico).



Figura 4.2: Proceso de soldadura de la estructura metálica

Una vez finalizado el proceso de soldadura, podemos apreciar en la figura 4.3, la estructura metálica finalizada.



Figura 4.3: Vista de la estructura metálica finalizada

4.1.3 Montaje del Sistema de Suspensión (Hojas de ballesta, neumáticos y pulmones de aire)

Según el diseño del banco en el software SOLIDWORKS, a continuación se montará todo el sistema de suspensión mecánico que corresponde a las hojas de ballesta, pernos, así como también los neumáticos.

Como paso previo a la colocación de las hojas de ballesta en la estructura metálica, es necesario la colocación de placas de acero 4 en cada lado de la estructura donde irán colocadas las ballestas, las cuales a más de ser el soporte de las mismas, poseen una característica especial, y es que poseen

un orificio guía, en el cual va alojado el perno, pero que una vez que el pulmón de aire sea accionado permitirá que las hojas de ballesta se desplacen de manera vertical (de arriba a abajo), permitiendo así que la altura del banco varié, cumpliendo así el objetivo del sistema de suspensión neumática.



Figura 4.4: Colocación de las hojas de ballesta, pernos y placas guías

Una vez colocadas las hojas de ballesta, se procede a construir la base y el soporte del neumático, para nuestro caso se ha diseñado un tubo con base circular, la cual contara con agujeros los cuales estarán dispuestos de manera exacta a los agujeros del neumático, estos servirán de soporte, del neumático, en la figura 4.5 se muestra a detalle las características de este elemento.



Figura 4.5: Soporte para neumáticos

A paso seguido colocamos cuatro espárragos en los agujeros antes mencionados, estos servirán de guía para los agujeros del rin del neumático y así poder colocar el neumático con cuatro tuercas.



Figura 4.6: Conjunto base - neumático

A continuación se procede a la colocación de las bases metálicas, una en cada hoja de ballestas, las cuales servirán de asiento para la parte inferior de los pulmones de aire.



Figura 4.7: Base metálica en la cara superior de la hoja de ballesta

A continuación se procede a la colocación de los pulmones de aire, los mismos que irán fijados en la parte superior del chasis mediante dos pernos, y en la parte inferior irán asentados en las bases metálicas colocadas previamente en las hojas de ballesta, fijados mediante tuercas.



Figura 4.8: Colocación de los pulmones de aire

Una vez fijados los pulmones de aire en la parte superior, colocamos las hojas de ballesta en el lugar indicado, para así poder fijar los pulmones de aire, así como también las hojas de ballesta.



Figura 4.9: Colocación de hojas de ballesta

El soporte del neumático a su vez ira fijado conjuntamente en la parte inferior central de las hojas de ballesta, esta fijación se lograra mediante la ayuda de abrazaderas.



Figura 4.10: Conjunto para soporte de neumáticos

Colocamos un eje como el que se muestra en la figura 4.11, el mismo que cumple la función de transmitir el movimiento a los neumáticos, en este caso necesitamos dos ejes para las llantas delanteras y posteriores.



Figura 4.11: Disposición de los ejes motrices

Para lograr la fijación del eje y el neumático en la estructura, es necesario disponer de dos abrazaderas en forma de U, una placa base, y dos placas de menor tamaño para lograr la unión de los extremos de las abrazaderas, este conjunto a detalle se muestra en la figura 4.12.



Figura 4.12: Conjunto eje - neumático

Finalizado el proceso anterior, la estructura esta lista para ser colocada en la superficie, y continuar con el proceso de ensamblaje.



Figura 4.13: Estructura metálica con neumáticos

4.1.4 Montaje de componentes auxiliares (panel de control y piso)

Para la operación del banco de pruebas, se decidió colocar un panel de control, que cumpla la función de contener el módulo de control en su parte superior, y además en su parte interna contener al conjunto de electroválvulas protegiendo así los elementos neumáticos, indispensables para el funcionamiento del sistema de suspensión.



Figura 4.14: Panel de control

Para el piso, colocamos una placa de madera (2100 x 90) mm, esta a su vez soportara el peso del asiento, ocupantes y componentes auxiliares del banco de pruebas.

La placa de madera está sujeta a la estructura metálica mediante la ayuda de pernos, de esta manera se logra una sujeción optima que garantice la seguridad de los ocupantes del banco, así como los elementos auxiliares del sistema de suspensión neumática.



Figura 4.15: Piso de madera

El piso de madera se lo fijara a la estructura metálica con la ayuda de pernos (8 pernos hexagonales), esto brindara una sujeción resistente que permitirá el tránsito de los ocupantes del banco de pruebas de manera segura y rápida, para desplazarse por la parte superior del banco.



Figura 4.16: Piso de madera fijado a la estructura del banco

Una vez colocado el piso, a manera de protección del mismo se colocó una moqueta de color negro, la cual cubre todo el piso, de esta manera a más de darle un aspecto más estético, se lo protege de manchas y suciedad.



Figura 4.17: Piso de madera con forro

4.2 Instalación del sistema de control neumático (mangueras, acoples)

Como en una instalación neumática normal se necesitaron de los acoples antes mencionados para el funcionamiento casi estanco del banco de pruebas.

Para mejorar el hermetismo del mismo se utilizó Permatex en las uniones de los acoples roscados., logrando así evitar fugas de aire que afecten el desempeño normal del sistema afectando en la respuesta rápida de los actuadores neumáticos.



Figura 4.18: Unión neumática con Permatex

Para la instalación de las mangueras se utilizó abrazaderas metálicas ideales para este tipo de uniones neumáticas, para evitar fugas de aire, que afecten el desempeño normal del sistema.



Figura 4.19: Mangueras neumáticas

En el caso de las electroválvulas se las colocó en el centro del banco de pruebas, para de esta manera tener una visibilidad muy fácil de las mismas y así estas pueden ser reemplazadas en caso de un desperfecto, a más de esto, la disposición de las mismas facilitó las conexiones de mangueras y acoples neumáticos.



Figura 4.20: Electroválvulas neumáticas

4.2.1 Ubicación e instalación del grupo de alimentación de aire (compresor)

En el caso del compresor de aire, se determinó que sin importar la potencia que este produzca servirá como elemento que proporcione la presión necesaria para la operación del sistema, lo que varía es que al tratarse de un compresor de mayor potencia, este a su vez tendrá un tanque mucho más amplio en el que la presión de aire que se almacena sea mayor y de esta manera esta favorecerá al normal trabajo de los pulmones de aire,

Para la conexión de este compresor se implementó un acople rápido, para conexión y desconexión del sistema de manera segura y rápida.



Figura 4.21: Compresor

4.2.2 Instalación de los finales de carrera

En el caso de los finales de carrera, que son los sensores encargados de determinar la posición en que se encuentran los actuadores, se los colocó en una placa, misma que a su vez proporciona el desplazamiento necesario a la ballesta, de esta manera es como se controla la altura, ya que al desplazarse la ballesta esta presiona al interruptor normalmente abierto, cerrándolo y enviando una señal al PLC para que este determine el paso a seguir. La disposición de los finales de carrera se muestra en la figura 4.22.

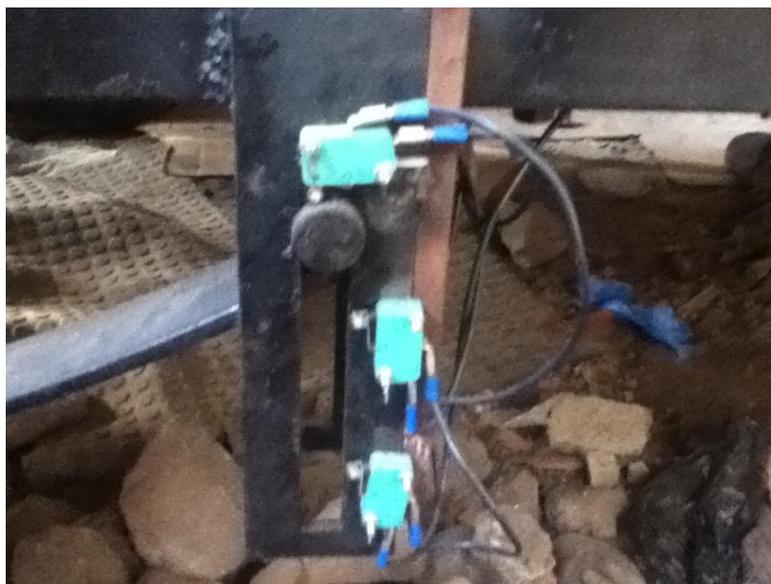


Figura 4.22: Ubicación de los finales de carrera

4.3. Programación del módulo de control electrónico (PLC)

La programación del PLC se la realiza con la ayuda de un PC y del software XCPPro, el programa está realizado en ladder, este es un lenguaje gráfico, que nos permite la utilización de simbología eléctrica para representar los componentes y su funcionamiento. Dicha programación se la presenta en el Anexo C:

La conexión del PLC al PC se logra mediante la utilización de un cable Rs232, este nos permite cargar la información contenida en el software al PLC, el mismo que cumple las funciones especificadas en la programación.



Figura 4.23 Conexión del PLC al PC

La información, una vez terminado el programa se la importa al PLC desde la PC, con la ayuda del software XCPPro, interfaz que se muestra en la figura 4.24.

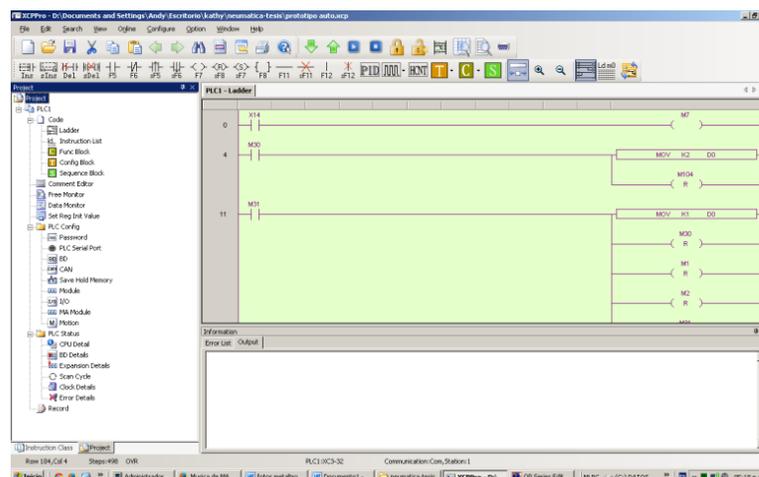


Figura 4.24 Programación del PLC

4.4 Ensamblaje del módulo de control electrónico de la suspensión neumática.

El módulo de control, se lo colocó en una caja de protección de metal, cuyas dimensiones son (40 cm x 30 cm x 20 cm).

Una vez colocado el módulo en su contenedor, con la ayuda de pernos se realizó la sujeción del mismo; al estar este ya ubicado en el lugar correspondiente, se realizaron las conexiones necesarias al PLC (Figura 4.25), para que este controle a las electroválvulas según las señales que reciba de los diferentes finales de carreras.

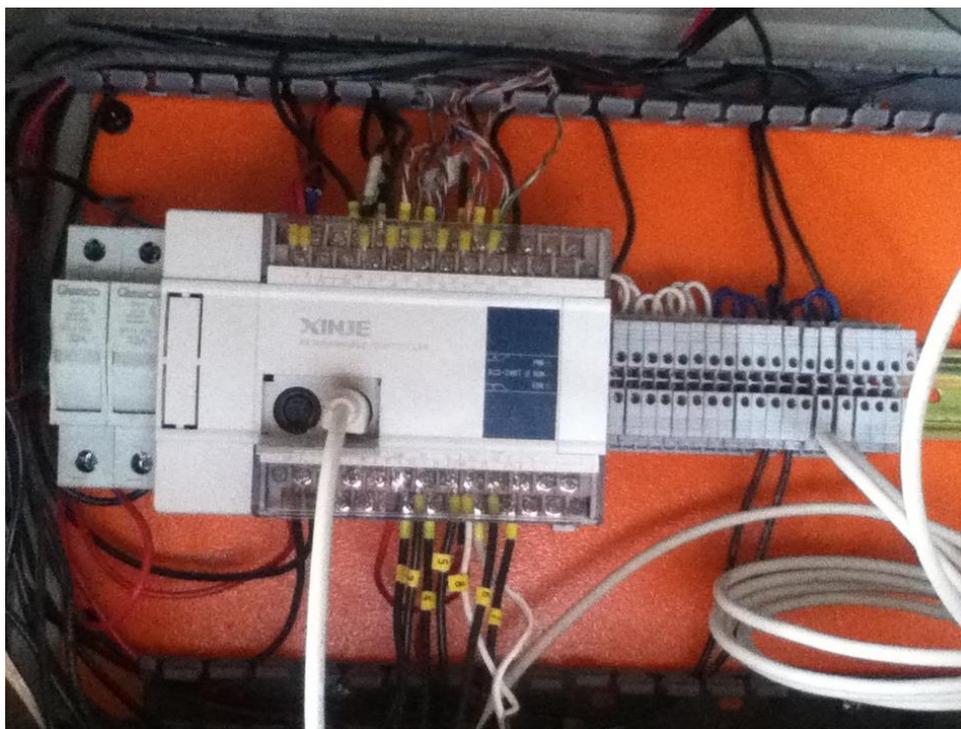


Figura 4.25: PLC Xinje XC3

4.5 Instalación del sistema electrónico

En la instalación de los diferentes componentes electrónicos, se utilizaron herramientas básicas (cautín, pinzas, estaño), mostrados en la figura 4.26.



Figura 4.26: Herramientas utilizadas en el ensamblaje electrónico

Para la disposición de los cables, de las electroválvulas, finales de carrera y PLC fue necesario realizar diversas perforaciones en la estructura. De esta manera se posicionó según la necesidad las diferentes líneas de cables para las conexiones.



Figura 4.27: Perforaciones a la estructura

Para que los finales de carrera envíen la señal al PLC, se realizó la conexión respectiva de los mismos con la ayuda de los cables y terminales soldados con cautín.



Figura 4.28: Conexiones a los finales de carrera

Con respecto al módulo de control de igual manera se realizó las distintas conexiones a las entradas y salidas del mismo, para que este pueda cumplir su función de gobernar el sistema de suspensión neumática.



Figura 4.29: Conexiones del PLC

Para evitar confusiones al momento de realizar las diferentes conexiones a los finales de carrera, es necesario etiquetar los cables para tener una idea clara de las conexiones que se deben realizar a cada sensor, caso contrario podemos enviar la señal equivocada al PLC y este no podrá cumplir su trabajo.



Figura 4.30: Conexión etiquetada

CAPITULO V

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD

5.1. Verificación de errores de ensamblaje

- En el caso del ensamblaje el error más importante que pudimos determinar fue el de la ubicación de los finales de carrera, estos debieron ser ubicados varias veces para que al desplazarse el perno de la ballesta no dañe el pulsador del final de carrera, debido a la ubicación propia de estos elementos en el sistema su ubicación de igual forma fue bastante complicada.
- En el caso de la distribución de pesos, tenemos una descompensación en la parte posterior, misma que es corregida cuando las personas que operaran el banco (5) estén sentadas en el mismo.
- Es importante el que se encuentren bien distribuidos los pesos, ya que al ser muy liviano el banco de pruebas se generan ciertos problemas al vaciarse los pulmones de aire.
- Debido a que se trata de un banco de pruebas estático, no se pueden determinar errores en el desplazamiento, por lo que los inconvenientes que se pueden generar se reducen drásticamente.
- Este banco de pruebas de suspensión neumática, lo que busca generar es un aprendizaje didáctico debido a su simpleza y funcionalidad, lo que predomina en este caso es la sencillez del sistema, sin dejar a lado su robustez y durabilidad.

5.2. Pruebas al sistema de control electrónico

- En el caso del sistema de control lo principal que se pudo apreciar es que siempre debe cumplirse la orden que fue dada, es decir que por ejemplo si se necesita que en “Modo Manual” trabaje solamente una rueda hasta la tercera posición, se debe esperar que esta llegue a su fin, en caso de ingresar otra orden al sistema, este dejará de funcionar y será necesario reiniciarlo, se estima que el tiempo promedio en que realiza el actuador el trabajo oscila entre 10 y 20 segundos, esto se debe a que la presión no va a ser constante, y cuando la presión descienda el tiempo de respuesta aumentará.
- La velocidad de trabajo del actuador es independiente del peso que este levante, pero es proporcional a la presión con la que se encuentre trabajando.
- El sistema electrónico que gobierna la maqueta es un PLC, mismo que para su operación necesita de 220 V.
- A continuación se detallan las diferentes pruebas que se realizaron en el sistema de control electrónico:

5.2.1 Prueba del módulo de control

Las pruebas realizadas al módulo de control, están relacionadas al funcionamiento del mismo, para este caso probaremos su funcionalidad desde la conexión a 220 V, se probará la interfaz de conexión del módulo con la pantalla ubicada en el panel de control del mismo, esta conexión pantalla/módulo se logra con la utilización de un cable Rs232²⁶, utilizado para la comunicación de los dos elementos, esto nos permite visualizar la

²⁶ Cable de descarga / PLC Xinje

información que contienen el modulo y a su vez interactuar con el sistema de suspensión neumática, ya que los botones dispuestos en la pantalla nos permitirán enviar la orden para que el sistema trabaje, permitiendo así variar los niveles de altura del banco de pruebas.

A continuación se detalla paso a paso, el funcionamiento del módulo, así como también la interfaz que se muestra en la pantalla para cada caso en el que se desee variar la altura del banco (niveles medio y máximo).

Antes de comenzar a utilizar el banco de pruebas asegúrese de que cuenta con los elementos necesarios:

- Debe contar con una conexión de 220 V caso contrario el equipo neumático (electroválvulas) no podrá realizar su trabajo.
- Tener siempre a la mano el cable Rs232 indispensable para la comunicación entre el modulo y la pantalla.

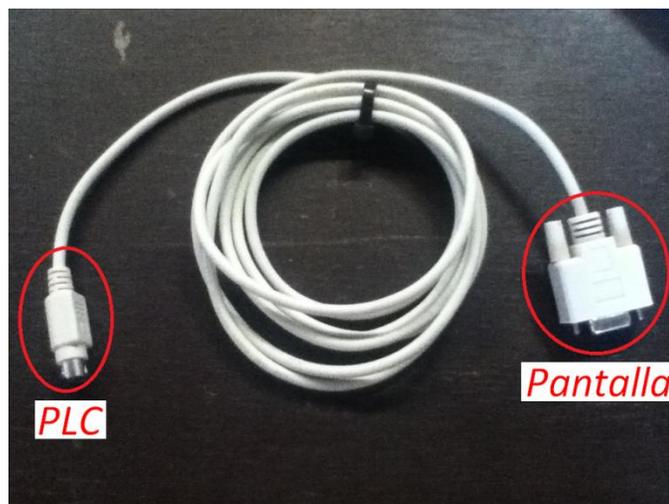


Figura 5.1: Cable Rs232 para conexión PLC/Pantalla

- También asegúrese de contar con la llave de la caja contenedora del módulo, en caso de emergencia o para alguna verificación adicional.



Figura 5.2: Llave para caja del módulo

- Una vez conectado el módulo de control a la toma de corriente 220 V, se lo debe encender usando el interruptor A (figura 5.3).
- En caso de ser necesario y por seguridad del equipo, se colocó un paro de emergencia, mismo que es accionado por el pulsador B (figura 5.3).



Figura 5.3: Interruptor de encendido y paro de emergencia

- Una vez encendido el módulo, la luz testigo C (figura 5.4) del tablero encendida, indicará que el equipo está listo para trabajar.



Figura 5.4: Luz testigo

- Una vez realizado este procedimiento, el módulo de control electrónico se encuentra operativo y en la pantalla aparecerá el mensaje: "CONTROL DE POSICION MOVIL, conectando...", a continuación presione el botón D (figura 5.5).

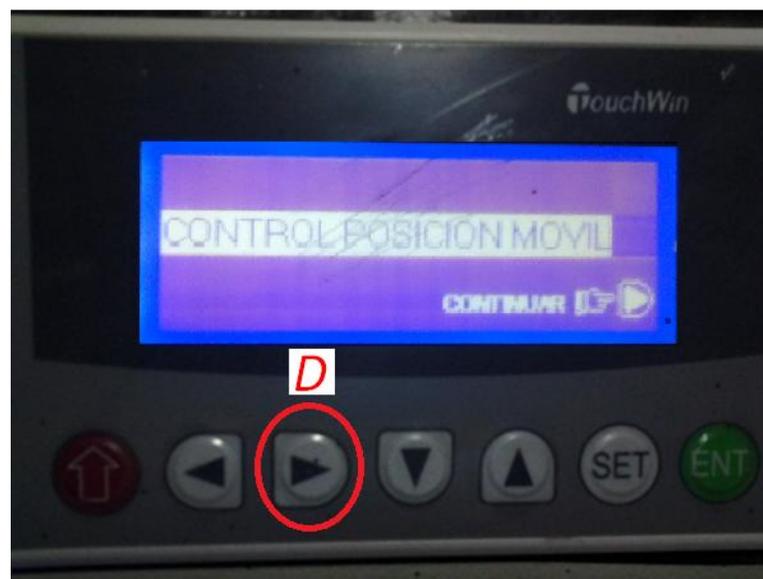


Figura 5.5: Pantalla de inicio

- Aparecerá la siguiente pantalla (figura 5.6), seleccione el tipo de control que desee, para control *MANUAL* presione el botón E (figura 5.6), para control *AUTOMÁTICO* presione el botón F (figura 5.6).



Figura 5.6: Selección del tipo de control

5.2.1.1 Control manual

Esta opción, permite el control individual de los cuatro actuadores dispuestos uno en cada neumático del banco de pruebas, el control puede hacerse un actuador, dos actuadores o tres actuadores a la vez, neumáticos delanteros y posteriores sin importar el orden que usted elija, puede realizar el control.

Para el caso de esta sección mostraremos a continuación el tipo de control que usted puede realizar, cabe mencionar que el actuador que usted desee controlar es independiente del ejemplo que mostraremos a continuación:

- Una vez seleccionado el control *MANUAL*, aparecerá la pantalla (figura 5.7). Realizaremos el control del neumático *DELANTERO DERECHO*, para ello presione el botón *D* (figura 5.7), y a paso seguido presione el botón *SET* (H) en la figura 5.7.



Figura 5.7: Control neumático delantero derecho

- Se muestra la siguiente pantalla (figura 5.8), en la cual se puede seleccionar el nivel de altura con el que va a trabajar el actuador neumático, para el ejemplo trabajaremos con el nivel *MÁXIMO*.

Para ello presione el botón *G* (figura 5.8), y a continuación el actuador respectivo iniciará su ciclo de trabajo, una vez finalizado el trabajo del actuador, presione el botón *SET* (H) en la figura 5.8, de esta manera el actuador regresa a su posición inicial para un nuevo ciclo de trabajo.



Figura 5.8: Control del nivel de altura

- A continuación vamos a realizar el control de dos actuadores a la vez (neumáticos DELANTERO IZQUIERDO y DELANTERO DERECHO), para ello y una vez seleccionado el control *MANUAL*, seleccione los botones G y D (figura 5.9), y a paso seguido presione el botón *SET* (H) en la figura 5.9.



Figura 5.9: Control para dos actuadores a la vez

- Se muestra la siguiente pantalla (figura 5.10), en la cual se puede seleccionar el nivel de altura con el que van a trabajar los actuadores neumáticos, para el ejemplo trabajaremos con el nivel *MÁXIMO*.

Para ello presione el botón *G* (figura 5.10), y a continuación los actuadores respectivos iniciarán su ciclo de trabajo, una vez finalizado el trabajo del actuador, presione el botón *SET* (*H*) en la figura 5.10, de esta manera el actuador regresa a su posición inicial para un nuevo ciclo de trabajo.



Figura 5.10: Control del nivel de altura para dos actuadores

- Finalmente vamos a realizar el control de tres actuadores a la vez (neumáticos DELANTERO IZQUIERDO, DELANTERO DERECHO y POSTERIOR IZQUIERDO), para ello y una vez seleccionado el control *MANUAL*, seleccione los botones *D*, *E* y *G* (figura 5.11), y a paso seguido presione el botón *SET* (*H*) en la figura 5.11.



Figura 5.11: Control para tres actuadores a la vez

- Se muestra la siguiente pantalla (figura 5.12), en la cual se puede seleccionar el nivel de altura con el que van a trabajar los actuadores neumáticos, para el ejemplo trabajaremos con el nivel *MÁXIMO*.

Para ello presione el botón G (figura 5.12), y a continuación los actuadores respectivos iniciarán su ciclo de trabajo, una vez finalizado el trabajo del actuador, presione el botón *SET* (H) en la figura 5.12, de esta manera el actuador regresa a su posición inicial para un nuevo ciclo de trabajo.



Figura 5.12: Control del nivel de altura

5.2.1.2 Control automático

Esta opción, permite realizar el control de los cuatro actuadores a la vez dispuestos uno en cada neumático del banco de pruebas, es decir puede controlar la altura de los cuatro actuadores al mismo tiempo.

- Una vez seleccionado el control *AUTOMATICO*, aparecerá la pantalla (figura 5.13).
- Para el ejemplo llevaremos los cuatro actuadores hasta el nivel *MEDIO*, para ello presione el botón D (figura 5.13), y a continuación los cuatro actuadores a la vez subirán hacia el nivel *MEDIO*, y a continuación presione el botón *SET* (H) en la figura 5.13, y de esta forma los cuatro actuadores regresaran a su posición inicial, es decir nivel *BAJO*.



Figura 5.13: Control del nivel de altura en control automático

5.2.2 Prueba de los finales de carrera

- Los finales de carrera al tratarse de partes mecánicas que están sujetas a diferentes esfuerzos son delicados, es por esta razón que se debe tener especial cuidado con estos elementos.
- El inconveniente principal que se puede tomar en cuenta, es la velocidad del desplazamiento del perno guía de la hoja de ballesta, y la forma de la cabeza del mismo, por lo que fue necesario redondearlas y así conseguir una forma adecuada que no afecte el desempeño normal de los finales de carrera.
- Para el caso del funcionamiento del banco de pruebas se ha dispuesto de 12 finales de carrera, tres para cada neumático.

- En lo correspondiente al nivel de altura del banco se cuenta con un nivel *MEDIO* y un *MÁXIMO*, el nivel *BAJO* es el nivel inicial, correspondiente a un nivel cero, marcado por cuatro finales de carrera (uno por cada actuador), los cuales están activados desde que se enciende el módulo de control, enviando una señal constante, indicadora de que todos los actuadores neumáticos se encuentran en su nivel más bajo.
- La prueba correspondiente para los finales de carrera se la realiza con la ayuda del módulo, el cual mediante la ayuda de luces indicadoras, muestra que los cuatro finales de carrera están activados (figura 5.14) y enviando la señal requerida para el reconocimiento del nivel *BAJO* de altura, nivel de referencia desde donde iniciaran los actuadores a trabajar.



Figura 5.14: Indicadores de finales de carrera activados

- De esta forma simple y sencilla se puede verificar el funcionamiento de los finales de carrera, lo mismo ocurrirá con el resto, es decir cuando estos sean activados se encenderá una luz en el módulo, e indicara que están trabajando normalmente.

5.3 Acabados finales

- Entre los acabados finales más importantes, fue el dimensionamiento de las mangueras y cables, mismos que debían tener la flexibilidad necesaria, para que el sistema trabaje sin tener ningún contratiempo, evitando desconexiones indeseadas y esfuerzos en los mismos.
- Es importante que el principal detalle final sea la seguridad, es por esto que se sobredimensionaron muchos de los componentes, de esta manera se logró obtener una alta fiabilidad en el diseño del banco de pruebas.
- Como protección para el piso se utilizó un recubrimiento sintético que protege la madera y a su vez facilita la limpieza.
- En el caso de la cabina se colocaron adhesivos, con la finalidad de proteger el material y a la vez, como identificación que el banco de pruebas es un proyecto de la carrera de Ingeniería Automotriz.

5.4 Capacidad de carga del banco de pruebas

Para determinar la capacidad de carga del banco de pruebas, es decir el peso máximo que soportan en este caso los actuadores neumáticos para llegar hasta el punto máximo, es necesario tomar en cuenta tres parámetros importantes:

- Presión mínima requerida para el funcionamiento (32.6 PSI)²⁷
- Presión máxima soportada por el actuador neumática (120 PSI)²⁸
- Presión máxima del compresor (175 PSI)²⁹

²⁷ Calculo: Presión de aire del sistema pp. 43

²⁸ Especificaciones del actuador neumático (ANEXO G)

²⁹ Especificaciones del compresor (Tabla 3.1)

Tomando en cuenta que para precautelar la integridad de los actuadores neumáticos, no se trabajaran con los valores máximos de presión, tomando el valor inferior más próximo para realizar el cálculo.

A más de los valores de presión considerados para el cálculo, es necesario calcular el peso para cada valor de presión, mismo que realizaremos con la siguiente fórmula:

—

Calculados los valores del peso con su respectivo valor de presión, se puede realizar el siguiente análisis:

- Para una presión de 32.6 PSI se obtuvo un peso de 396,1 lb que es un peso correspondiente a dos personas aproximadamente, y que es la cantidad de ocupantes que desde un principio se destinó para que realicen las distintas pruebas con el sistema de suspensión.
- Para una presión de 100 PSI se obtuvo un peso de 1213 lb, peso aproximado para seis personas, con lo podemos determinar que por motivos de seguridad el banco de pruebas soportará un número máximo de cinco personas para que los actuadores operen de manera óptima.
- Para una presión de 175 PSI se obtuvo un peso de 2122.75 lb, como se mencionó anteriormente, este valor no será tomado en cuenta, por motivos de seguridad y al ser un valor de presión que supera el rango máximo para los actuadores neumáticos, pero lo hemos tomado en cuenta, como indicador de que al instalar actuadores neumáticos más grandes se puede trabajar con el peso indicado.

El cálculo realizado es indicador de que a mayor presión, podemos trabajar con mayores pesos, tomando siempre en cuenta la capacidad de presión máxima que soporta el actuador neumático.

La curva característica del funcionamiento de este tipo de actuador neumático viene indicada en el ANEXO G, y para comprobación del mismo se muestra en la figura 5.15 la gráfica W(P) obtenida partiendo de los valores de peso y presión obtenidos en el cálculo.

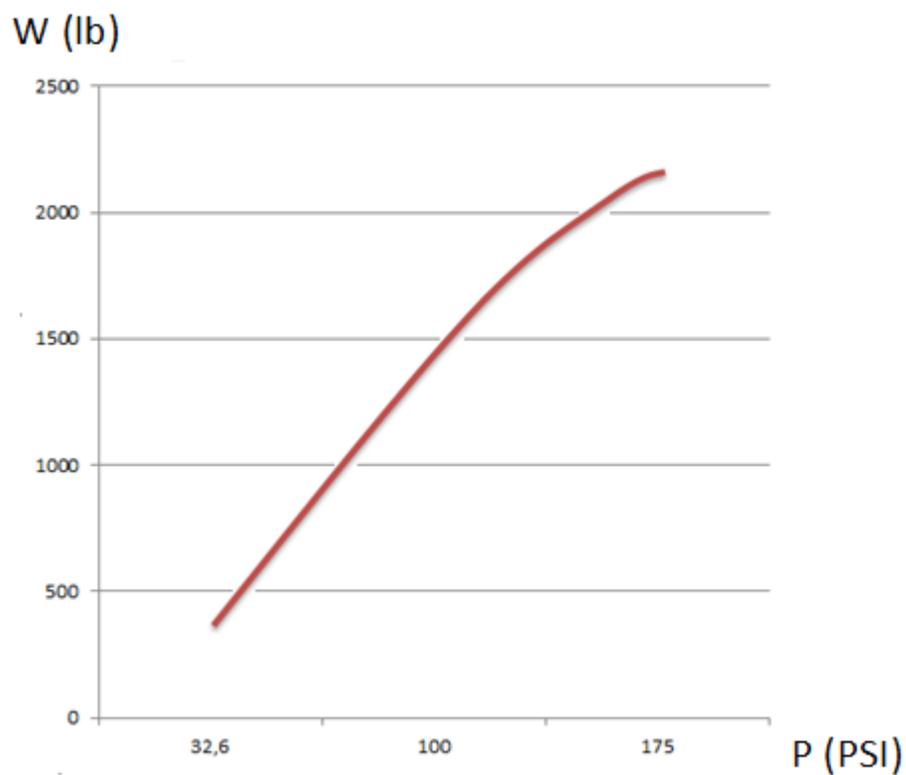


Figura 5.15: Grafica Peso-Presión

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se diseñó un banco de pruebas controlado electrónicamente, para el laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.
- Se construyó un banco de pruebas de suspensión neumática controlada electrónicamente, para el laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.
- Se diseñó la estructura del banco de suspensión neumática, utilizando Solid Works
- Se construyó la estructura del banco de pruebas de suspensión neumática, utilizando un perfil de acero ASTM A36 (50 x 50), de 3mm de espesor.
- Se adaptaron varios elementos al sistema de suspensión neumático, entre ellos: electroválvulas y actuadores neumáticos.
- Se ensambló el circuito electrónico de la unidad de mando de la suspensión neumática, para lo cual se utilizaron finales de carrera normalmente abiertos, que son los encargados de censar la posición de los actuadores neumáticos.
- Se implementó el módulo de control electrónico en el banco de pruebas de suspensión neumática, el mismo fue implementado con un PLC de la marca Xinje.

- Se comprobó la funcionalidad del banco de pruebas de suspensión neumática, realizando varias pruebas al mismo para verificar su correcto funcionamiento.
- Para que el sistema neumático pueda desempeñarse de la manera correcta es necesario tener presión constante en el sistema de alimentación de aire, ya que al descender esta presión el recorrido del actuador (pulmón de aire) se verá afectado y de igual manera lo hará su velocidad de reacción.
- Para un desempeño eficiente del sistema de suspensión neumática es necesario la instalación de un reservorio de aire, de un regulador y un indicador de presión, permitiendo un control de parámetros y un correcto desempeño del banco de pruebas.
- Al acoplar sensores de cualquier tipo (Hall, óptico o magnético) se conseguirá mayor precisión en el censado de las señales enviadas por los actuadores (pulmones de aire).
- Para conseguir de manera exacta los tres niveles de altura que poseen los actuadores (pulmones de aire), es necesario esperar de 10 a 20 segundos, hasta que el actuador llegue a la posición solicitada.
- Se debe tener un perfecto engrase en los tornillos responsables del desplazamiento del actuador para evitar que se traben al desplazarse y esto perjudique el funcionamiento normal de los actuadores.
- Para iniciar la operación del sistema es necesario que el módulo de control (PLC) reconozca un nivel “cero”, esto se logra con la posición inicial del final de carrera, el cual debe estar accionado desde el principio, ya que de esta manera el PLC podrá censar la posición e iniciará el trabajo de los actuadores.
- Debido al diseño que se realizó en el banco de suspensión neumática, se puede tener un cambio de rueda únicamente inflando tres

actuadores, siendo esto muy útil y aplicable en vehículos de producción en serie.

- Debido a la configuración del PLC y al voltaje con que trabajan las electroválvulas, es necesario contar con una conexión a 220 V, no es necesario disponer de un cable con un diámetro elevado, es suficiente con el cable gemelo # 16.
- Debido a la configuración del banco de pruebas, se limitó en 3,5 cm. El desplazamiento total del pulmón de aire, de esta manera se pretende compensar las pérdidas de presión que sufre el compresor.

6.2. Recomendaciones

- Para el caso de la presente investigación es importante el continuar con la misma, ya que debido a la versatilidad del diseño se puede permitir la implementación de proyectos complementarios entre estos, implementación de otros sistemas automotrices y relacionados a la maquinaria pesada, como pueden ser por ejemplo:
 - Implementación de un módulo de control a distancia para el sistema de suspensión neumático.
 - Implementación de actuadores neumáticos/hidráulicos en la parte posterior del banco de suspensión neumática, para la adaptación de una volqueta.
 - Implementación de un sistema de dirección electrónica en el banco de suspensión neumática.
- En este caso, para nuestra investigación, es necesario utilizar la máxima presión del compresor, ya que al descender la presión, el

actuador no trabajará de manera óptima, ya que su desplazamiento será menor y su tiempo de respuesta igual.

- Debido al dimensionamiento del banco (1.5 m x 3.5 m) y al material que se utilizó para su construcción, se puede ser considerado a futuro para la implementación de proyectos complementarios, de esta manera el presente proyecto puede convertirse en un banco de pruebas muy completo, con sistemas automotrices que posean tecnología de punta.
- Otra implementación que es aconsejable realizar en el banco, es la adaptación de un motor eléctrico que unido a un compresor y a un reservorio, siempre suministre aire a una presión constante al sistema.
- Entre los proyectos que pueden servir como complemento a esta investigación, también podemos adentrarnos en la utilización de diferentes tipos de sensores, los mismos que darán mayor precisión en el trabajo del sistema, su inconveniente es el precio ya que este tipo de sensores (Hall) tienen un costo de \$400,00 dólares aproximadamente, es por este motivo que los sistema de suspensión neumática son utilizados en vehículos pesados o de muy alta gama.
- En caso de interrumpir el tiempo necesario para el accionamiento de los actuadores de la suspensión neumática, es necesario reiniciar el sistema, por lo que se recomienda tener un lapso comprendido de 10 a 20 segundos para que el actuador realice su trabajo.
- Debido a la forma de la construcción y a los materiales utilizados en la misma, se tiene ciertos inconvenientes con el trabajo de los elementos, mismos que en su mayoría son superados utilizando grasa para que estas pérdidas mecánicas disminuyan considerablemente.

- En caso de realizar un cambio de llanta, utilizando el sistema neumático del banco de pruebas, se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes.
- Se deben tener en cuenta las diferentes medidas de seguridad al encender el módulo de control ya que trabaja con 220 V, es por esa razón que el banco incorpora un conector propio, no se debe manipular en caso de que el mismo se encuentre en mal estado.
- Es importante, mantener el banco de pruebas en un ambiente sin exceso de humedad y evitar sobrecargarlo, esto debido a la seguridad de los componentes electrónicos.
- Es importante la verificación de los finales de carrera, ya que de estos depende el buen funcionamiento del banco de pruebas, además es imprescindible que estos trabajen óptimamente, enviando la señal al módulo para de esta manera cortar el paso de aire a los actuadores, caso contrario el exceso de presión puede afectar al actuador neumático.
- Se debe tener en cuenta que el fin de este banco de pruebas es didáctico, por lo que se debe evitar jugar en el mismo o realizar actividades diferentes a la didáctica o práctica realizada en el taller.
- Es importante que cuando los pulmones estén desinflados totalmente, no se cargue con un exceso de peso a la estructura del banco de pruebas, ya que pueden sufrir daños y afectar su funcionamiento.

6.3. Bibliografía

- SANTANDER RUEDA, J. (2012). "Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz". (7ª. Ed.) Colombia: Diseli,

- GIL MARTINEZ, H. (2011), “Manual Práctico del Automóvil: Reparación y Mantenimiento”. (5ª. Ed) España: Cultural S.A,
- HERMÓGENES GIL, J. (2013), “Manual Práctico del Automóvil”. (5ª. Ed) España: Cultural S.A.
- ROLDÁN VILORIA, J. (2013), “Neumática, hidráulica y electricidad aplicada”, (3ª. Ed.) España; Editorial Acuarium.
- ALONSO, J.M., (2012) “Circuito de Fluidos y Suspensión y Dirección”, (2ª. Ed), España: Editorial Paraninfo.
- Narváez, Julio. (2011). Construcción e implementación de un sistema de suspensión neumática inteligente en un vehículo tipo automóvil Mazda 323. Tesis de Ingeniería Automotriz, Espoch, Riobamba.

6.4. Netgrafía

- Barras Estabilizadoras.
http://es.wikipedia.org/wiki/Barra_estabilizadora 2014-02-13
- Bujes.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Buje2014-02-13>
- Actuadores Neumáticos. Euro Partes.
<http://www.euro4x4parts.com>
- Suspensión Automotriz. Blog de suspensión.
suspensionautomotriz1993.blogspot.com
- Xinje PLC. Xinje.com.
<http://es.aliexpress.com/item/Xinje-XC3-serie-PLC-XC3-32R-E-18-point-NPN-Inputs-14-point-Relay-Outputs-AC220V/871616681.html>
- Acero ASTM A36. Scribd.
<http://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>
- Suspensión. Aficionados a la mecánica.
<http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension9.htm>

ANEXOS

ANEXO A

TABLA DE DESPLAZAMIENTO DE
LOS ACTUADORES

ANEXO B

TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL ACERO ASTM A36

ANEXO C

PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO
DE CONTROL (PLC)

ANEXO D

CONEXIONES (ENTRADAS Y
SALIDAS) DEL MÓDULO DE
CONTROL (PLC)

ANEXO E
PLANOS DEL DISEÑO DEL
BANCO DE PRUEBAS

ANEXO F

SIMULACIÓN DEL SISTEMA
NEUMÁTICO EN FESTO
FLUIDSIM

ANEXO G

ESPECIFICACIONES DEL ACTUADOR NEUMÁTICO