



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO  
DIDÁCTICO PARA AMORTIGUADORES CON  
PROGRAMACIÓN EN LABVIEW, PARA EL TALLER DE  
LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**MELLENDEZ PAZOS JHONY ROLANDO**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del título de:

# **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-03-07

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**JHONY ROLANDO MELENDEZ PAZOS**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN UN BANCO DIDÁCTICO PARA  
AMORTIGUADORES CON PROGRAMACIÓN EN LABVIEW, PARA EL  
TALLER DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE  
MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Emilia Aimacaña Sánchez  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Miguel Aquino Arroba  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JHONY ROLANDO MELENDEZ PAZOS

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN UN BANCO DIDÁCTICO PARA AMORTIGUADORES CON PROGRAMACIÓN EN LABVIEW, PARA EL TALLER DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**Fecha de Examinación:** 2014-02-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Emilia Aimacaña Sánchez DIRECTORA DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino Arroba ASESOR DE TESIS			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados es de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Jhony Rolando Melendez Pazos

## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico a Dios y mi familia que gracias a su apoyo y consejos me dio las fuerzas necesarias para poder culminar mi carrera con gran éxito y así ser una persona de bien para la sociedad.

A mi madre que gracias a sus consejos, enseñanzas, apoyo incondicional y el amor de madre que supo darme ayuda para culminar mis objetivos como persona y estudiante.

También lo dedico a mi hermano, hermanas y sobrinos que a pesar de la distancia que nos separa siempre supieron aconsejarme y brindarme todo su apoyo tanto moral como económico en todo momento.

Y a todas esas personas que supieron darme las fuerzas y los ánimos necesarios en todo momento y situación del transcurso de mi vida hasta la culminación de esta etapa de mi vida.

**Jhony Melendez Pazos**

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia mi eterno agradecimiento a Dios por guiarme por el camino del bien y del buen saber ya que sin la fuerza que el brinda y el apoyo espiritual no tendría las fuerzas necesarias para culminar este gran capítulo de mi vida.

A mi madre Ruth Pazos y hermana Alexandra Solano que a pesar de la gran distancia que nos separan siempre estaban en los momentos de tristeza, alegría y supieron darme un apoyo incondicional.

Gracias también a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo en especial a los docentes de la escuela de Ingeniería Automotriz, compañeros y amigos que me permitieron entrar en sus vidas y supieron brindarme su incondicional amistad y solidaridad en todo momento.

Y a todas las personas que directa o indirectamente participaron ya sea leyendo, opinando, aconsejando, corrigiendo, dando ideas, dando ánimo, y acompañándome en todos esos momentos de difíciles de la realización de este proyecto de tesis.

**Jhony Melendez Pazos**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO</b>	
2.1 Historia .....	4
2.2 Amortiguadores .....	6
2.3 Funcionamiento .....	8
2.3.1 <i>Expansión (el amortiguador se abre)</i> .....	8
2.3.2 <i>Compresión (el amortiguador se cierra)</i> .....	9
2.4 Tipos de amortiguadores.....	9
2.4.1 <i>Amortiguador de un tubo (monotubo)</i> .....	10
2.4.1.1 <i>Partes de un amortiguador monotubo</i> .....	11
2.4.1.2 <i>Carrera de compresión (bote)</i> .....	12
2.4.1.3 <i>Carrera de extensión (rebote)</i> .....	12
2.4.1.4 <i>Ventajas y desventajas de los amortiguadores</i> .....	13
2.4.2 <i>Amortiguador de dos tubos (bitubo)</i> .....	13
2.4.2.1 <i>Partes de una amortiguador bitubo</i> .....	14
2.4.2.2 <i>Carrera de compresión (bote)</i> .....	15
2.4.2.3 <i>Carrera de extensión (rebote)</i> .....	15
2.4.2.4 <i>No presurizados</i> .....	15
2.4.2.5 <i>Presurizados</i> .....	16
2.4.2.6 <i>Ventajas respecto a los no presurizados y al monotubo</i> .....	17
2.4.3 <i>Amortiguadores llenos de gas a baja presión</i> .....	17
2.4.3.1 <i>Cavitación</i> .....	18
2.5 Características de los amortiguadores .....	20
2.5.1 <i>Rangos de actuación de los amortiguadores</i> .....	20
2.5.2 <i>Desplazamiento máximo</i> .....	21
2.5.3 <i>Velocidad máxima</i> .....	22
2.5.4 <i>Representación de las fuerzas de amortiguamiento</i> .....	25
2.5.4.1 <i>Coefficiente de amortiguamiento</i> .....	25
2.5.4.2 <i>Gráfico fuerza-posición</i> .....	26
2.5.4.3 <i>Gráfico fuerza-velocidad</i> .....	28
<b>3. DISEÑO ESTRUCTURAL Y SELECCIÓN DE LAS PARTES NEUMÁTICAS</b>	
3.1 Diseño estructural.....	30
3.1.1 <i>Bancada de equipos</i> .....	30
3.1.2 <i>Requisitos técnicos de las bancadas</i> .....	30
3.1.3 <i>Materiales de construcción</i> .....	30
3.1.4 <i>Método de elaboración de las bancadas</i> .....	31
3.1.4.1 <i>Parámetros seleccionados para la bancada de equipos</i> .....	31
3.1.4.2 <i>Bancada de miembros estructurales</i> .....	31
3.2 Análisis estructural.....	32
3.2.1 <i>Materiales estructurales utilizados</i> .....	32
3.2.2 <i>Modelo geométrico</i> .....	33
3.2.3 <i>Asignación de materiales y propiedades</i> .....	33
3.2.4 <i>Asignación de empotramientos</i> .....	34
3.2.5 <i>Fuerzas aplicadas a una estructura</i> .....	35
3.3 Cargas gravitacionales en la estructura.....	35
3.3.1 <i>Cargas muertas</i> .....	35
3.3.2 <i>Cargas vivas</i> .....	36
3.3.3 <i>Carga adicional</i> .....	37

3.3.4	<i>Fuerzas ambientales</i> .....	37
3.3.5	<i>Resultados de deformación</i> .....	38
3.4	<i>Neumática</i> .....	39
3.4.1	<i>Ventajas de la neumática</i> .....	39
3.4.2	<i>Desventajas de la neumática</i> .....	40
3.4.3	<i>Automatización</i> .....	40
3.4.3.1	<i>Propiedades del aire comprimido</i> .....	41
3.4.4	<i>Representación esquemática de circuitos neumáticos</i> .....	42
3.5	<i>Selección del actuador neumático</i> .....	43
3.5.1	<i>Actuador neumático</i> .....	43
3.5.1.1	<i>Cilindro de simple efecto</i> .....	43
3.5.1.2	<i>Cilindros de doble efecto</i> .....	44
3.5.2	<i>Fuerza disponible en el cilindro</i> .....	45
3.5.2.1	<i>Consumo de aire en el cilindro</i> .....	46
3.5.2.2	<i>Relación de compresión</i> .....	46
3.5.2.3	<i>Sensor magnético CS1-E</i> .....	49
3.5.2.4	<i>Selección del compresor</i> .....	50
3.6	<i>Unidad de mantenimiento GFR200-08</i> .....	52
3.6.1	<i>Filtro</i> .....	52
3.6.1.1	<i>Funcionamiento</i> .....	52
3.6.2	<i>Regulador</i> .....	53
3.6.3	<i>Lubricador</i> .....	53
3.6.3.1	<i>Funcionamiento</i> .....	54
3.7	<i>Válvulas solenoides (Electroválvulas)</i> .....	54
3.8	<i>Controles de flujo-directos</i> .....	55
3.9	<i>Transmisor de presión PBT</i> .....	56
3.10	<i>Racores plásticos</i> .....	57
3.10.1	<i>Tipos de racores</i> .....	58
3.11	<i>Manguera de poliuretano</i> .....	59
3.11.1	<i> tubo de poliuretano</i> .....	59
<b>4.</b>	<b>DISEÑO ELECTRÓNICO Y PROGRAMACIÓN</b>	
4.1	<i>Esquema eléctrico del circuito</i> .....	60
4.1.1	<i>Diseño de la placa</i> .....	60
4.1.1.1	<i>Diseño inicial</i> .....	60
4.1.1.2	<i>Segundo diseño</i> .....	60
4.1.1.3	<i>Tercer diseño</i> .....	61
4.1.1.4	<i>Diseño finalizado</i> .....	61
4.1.2	<i>Impresión del circuito en la placa</i> .....	62
4.1.3	<i>Perforación de la placa</i> .....	63
4.1.4	<i>Colocación y soldada de los implementos</i> .....	63
4.2	<i>Descripción del software (LabVIEW)</i> .....	65
4.2.1	<i>Introducción</i> .....	65
4.2.2	<i>Aplicaciones de LabVIEW</i> .....	65
4.2.3	<i>Programación gráfica o Instrumentos visuales</i> .....	66
4.3	<i>Tarjeta DAQ NI USB-6009</i> .....	66
4.3.1	<i>Especificaciones técnicas</i> .....	68
4.4	<i>Programación gráfica con LabVIEW</i> .....	71
4.4.1	<i>While Loop</i> .....	71
4.4.2	<i>Tab Control</i> .....	72
4.4.3	<i>SR Bistable</i> .....	74
4.4.4	<i>Case structure</i> .....	75
4.4.5	<i>Flat sequence</i> .....	76
4.4.6	<i>Wait</i> .....	76
4.4.7	<i>Shift register</i> .....	77
4.4.8	<i>Local variable</i> .....	78
4.5	<i>Configuración de la DAQ Asisst</i> .....	79
4.5.1	<i>DAQ Asisst</i> .....	79
4.5.2	<i>Index array</i> .....	80
4.6	<i>Diseño y programación de la pantalla de inicio del programa</i> .....	81



4.6.1	<i>Pestaña de inicio.....</i>	81
4.6.2	<i>Pantalla de test.....</i>	82
4.6.3	<i>Pantalla de medición.....</i>	83
4.6.4	<i>Diseño final de la programación en LabVIEW.....</i>	83
4.6.5	<i>Diagrama de bloques.....</i>	85
<b>5.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE</b>	
5.1	Construcción de la estructura.....	86
5.1.1	Construcción de mesa de sujeción.....	86
5.1.2	Construcción de las columnas de soporte.....	88
5.1.3	Construcción del soporte cilindro-amortiguador.....	89
5.1.4	Construcción del soporte amortiguador.....	90
5.1.5	Colocación de platina para el tablero neumático.....	91
5.1.6	Construcción del soporte de sujeción del amortiguador.....	92
5.2	Instalación del sistema neumático.....	92
5.2.1	Área de alimentación y mantenimiento.....	93
5.2.2	Área de monitoreo eléctrico de la presión.....	93
5.2.3	Área del control del cilindro.....	94
5.2.4	Instalación del cilindro neumático.....	94
5.2.5	Colocación de mangueras.....	96
5.3	Instalación del sistema electrónico.....	96
5.3.1	Colocación de la tarjeta de adquisición 6009.....	96
5.3.2	Colocación de la fuente y circuito electrónico.....	97
5.3.3	Cableado de la electroválvula.....	97
5.3.4	Cableado del sensor presión de aire.....	98
5.3.5	Colocación de los sensores magnéticos.....	98
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	
6.1	Costos directos.....	100
6.1.1	Costos de materiales.....	100
6.1.2	Costo por maquinaria y equipos utilizados.....	102
6.1.3	Costo de mano de obra.....	102
6.1.4	Costo por transporte.....	102
6.2	Costos indirectos.....	103
6.3	Costo total.....	103
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
7.1	Conclusiones.....	104
7.2	Recomendaciones.....	104

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
1	Ventajas y desventajas de los amortiguadores monotubo.....	13
2	Ventajas respecto no presurizados-monotubo.....	17
3	Materiales estructurales utilizados.....	32
4	Especificaciones de entradas analógicas.....	69
5	Especificaciones de salidas analógicas.....	69
6	Especificaciones de entradas y salidas digitales.....	70
7	Especificaciones de los niveles lógicos digitales.....	70
8	Gastos de instalación del área neumática.....	100
9	Gastos de elaboración de estructura.....	101
10	Gastos de instalación del sistema de adquisición de datos.....	101
11	Gastos de maquinaria y equipo utilizado.....	102
12	Gastos de mano de obra.....	102
13	Gastos por transporte.....	102
14	Gastos indirectos.....	103
15	Gastos totales.....	103

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Carruaje con el primer amortiguador.....	4
2	Amortiguador de muelle.....	5
3	Amortiguador de fricción.....	5
4	Amortiguadores.....	7
5	Expansión del amortiguador.....	8
6	Compresión del amortiguador.....	9
7	Esquema simplificado del monotubo.....	10
8	Partes del amortiguador monotubo.....	11
9	Carrera de compresión del amortiguador.....	12
10	Carrera de extensión del amortiguador.....	13
11	Esquema simplificado del amortiguador bitubo.....	14
12	Partes del amortiguador bitubo.....	14
13	Amortiguador no presurizado.....	16
14	Amortiguador presurizado.....	16
15	Grafica simplificada del desplazamiento.....	21
16	Esquema simplificado de la velocidad máxima.....	22
17	Grafica simplificada de la velocidad máxima.....	23
18	Representación simplificada del coeficiente de amortiguamiento en función.....	26
19	Grafica simplificada de fuerza-posición.....	27
20	Grafica simplificada de fuerza-posición, cuadrante 1y4.....	28
21	Grafica simplificada fuerza-posición.....	29
22	Modelado de la estructura.....	33
23	Asignación de materias para estudio.....	33
24	Ménsula con símbolo en su extremo.....	34
25	Fuerzas de empotramiento.....	34
26	Carga debido al peso de la estructura.....	36
27	Cargas máximas desarrolladas por el pistón.....	37
28	Cargas adicionales.....	37
29	Deformación de estructura.....	38
30	Esfuerzo de estructura.....	38
31	Factor de seguridad.....	39
32	Partes principales de un circuito neumático, representación y componentes.....	42
33	Cilindro de simple efecto.....	44
34	Cilindro de doble efecto.....	44
35	Cilindro neumático.....	45
36	Selección de diámetro y carrera de cilindro.....	47
37	Selección del diámetro del vástago.....	47
38	Cilindro neumático con topes magnéticos.....	49
39	Sensor magnético CS1-E.....	50
40	Instalación del sensor en el cilindro magnético.....	50
41	Filtro de la unidad de mantenimiento.....	52
42	Regulador de la unidad de mantenimiento.....	53
43	Lubricador de la unidad de mantenimiento.....	54
44	Válvula solenoide 4V230C-08 (5/3).....	55
45	Control de flujo-directo.....	56
46	Transmisor de presión PBT.....	57
47	Racor recto 1/8" x 6mm.....	58
48	Racor codo giratorio 1/4" * 6mm y unión tee 6mm.....	58
49	Manguera de poliuretano.....	59
50	Diseño inicial de placa.....	60
51	Segundo diseño de placa.....	61
52	Tercer diseño de placa.....	61
53	Diseño de placa.....	62
54	Circuito impreso en baquelita.....	63
55	Perforación de la placa.....	63

56	Verificación de implementos en la placa.....	64
57	Soldando las diversas piezas en la placa.....	64
58	Tarjeta DAQ USB 6009.....	66
59	Instalación correcta de la DAQ.....	67
60	Diagrama de bloques de Tarjeta DAQ USB 6009.....	67
61	Asignación de terminales analógicos.....	68
62	Asignación de terminales digitales.....	68
63	Selección del While Loop.....	71
64	Crear control del While Loop.....	72
65	Botón de finalización de lazo.....	72
66	Ventana multipestañas o tab control.....	73
67	Acciones mecánicas de controles.....	73
68	Diagrama de bloques SR BISTABLE.....	74
69	Pulsadores del SET y RESET.....	74
70	Seteado de los pulsadores.....	75
71	Case Structure.....	75
72	Icono del Flat Sequence.....	76
73	Icono del Wait.....	76
74	Wait y su constante.....	77
75	Agregada de un Shift Register.....	77
76	Creación de una Local Variable.....	78
77	Transformación de Local Variable en un controlador.....	78
78	Agregación de una DAQ Assist.....	79
79	Configuración de la DAQ Assist.....	79
80	Esperar la configuración.....	80
81	Colocación de un Index Array.....	80
82	Fijación del S1 y S2 al Index Array.....	81
83	Pestaña de inicio.....	82
84	Pestaña del test.....	82
85	Pestaña de medición.....	83
86	Finalización del programa realizado.....	84
87	Tubo cuadrado AST M36.....	86
88	Mesa de sujeción con sus cordones de suelda.....	87
89	Retirada de escoria y pulida.....	87
90	Tubo rectangular ASTM36.....	88
91	Columnas del soporte cilindro-amortiguador.....	88
92	Perforaciones de colocación del cilindro neumático.....	89
93	Soporte cilindro-amortiguador.....	90
94	Soporte del amortiguador.....	90
95	Platina del tablero neumático.....	91
96	Platina agujereada.....	91
97	Soporte de sujeción del amortiguador en U.....	92
98	Alimentación y mantenimiento de aire.....	93
99	Área de monitoreo de presión.....	93
100	Área de control del cilindro.....	94
101	Colocación de los controladores de flujo-directo.....	94
102	Colocación del soporte cilindro-amortiguador.....	95
103	Colocación del soporte inferior.....	95
104	Instalación completa del cilindro neumático.....	95
105	MDF para colocación sistema electrónico.....	97
106	Colocación de los sensores magnéticos.....	98
107	Banco de pruebas terminado.....	99

## SIMBOLOGÍA

$m$	Masa
$k$	Coeficiente de elasticidad de un resorte
$C$	Coeficiente de compresión
$V$	Velocidad
$s$	Segundos
$t$	Tiempo
$x$	Distancia
$V_{max}$	Velocidad máxima
$A$	Amplitud del desplazamiento
$w$	Frecuencia de la oscilación
$\pi$	Pi (Relación longitud diámetro de una circunferencia)
$f$	Frecuencia
$F$	Fuerza
$L$	Longitud
$P$	Presión
$A$	Área
$d$	Diámetro de la camisa del cilindro
$Q$	Consumo de aire
$S$	Carrera del cilindro
$D$	Diámetro del cilindro
$d$	Diámetro del vástago
$n$	Ciclos por minuto
$R_c$	Relación de compresión
$Q_{total}$	Consumo de aire total
$V_A$	Volumen acumulada
$P_{BOMBA}$	Presión de la bomba
$V_o$	Volumen
$P_{min}$	Presión mínima
$P_{m e}$	Potencia del motor eléctrico
$^{\circ}C$	Grados Celsius
$^{\circ}F$	Grados Fahrenheit
$V$	Voltios
$\Omega$	Ohmios

## LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	Sociedad americana de pruebas a materiales
LED	Diodo emisor de luz
PSI	Libras por pulgada cuadrada
PBT	Sensor de flujo de aire
IEC	Comisión electrotécnica internacional.
DIN	Instituto alemán de normalización
NI	National instruments
DAQ	Tarjeta de adquisición de datos
SMAW	Soldadura de arco eléctrico
MDF	Fibra vulcanizada de densidad media

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Tabla de selección de diámetro del cilindro neumático de doble efecto
- B** Tabla de selección de cilindro de doble efecto
- C** Datos y especificaciones de la unidad de mantenimiento GFR200-08
- D** Especificaciones de los reguladores de presión miniatura
- E** Especificaciones de los silenciadores neumáticos
- F** Especificaciones de la manguera de poliuretano, racores y codos giratorios
- G** Especificaciones de los sensores magnéticos CS1-E
- H** Asignación de terminales de la tarjeta DAQ NI 6009

## RESUMEN

El diseño y construcción de un banco didáctico de pruebas está tiene como finalidad de facilitar la enseñanza y el aprendizaje del sistema de suspensión, para demostrar los cambios tecnológicos que tienen los componentes de un vehículo, específicamente en los amortiguadores.

Para la selección del sistema neumático se realizó el cálculo del cilindro neumático mediante tablas de selección de cilindros y las fuerzas máximas de aire necesarias para la compresión y expansión del amortiguador. Consta de un sistema neumático para la activación de las electroválvulas y el cilindro neumático, la activación se la realiza mediante un relé controlado por medio de sensores que reciben órdenes de la programación realizada en LabVIEW y cargada en la tarjeta de adquisición DAQ 6009.

El diseño estructural se realizó mediante la aplicación de un software para modelación mecánica con elementos finitos calculando la resistencia, el coeficiente de elasticidad, las cargas vivas, cargas muertas y cargas adicionales.

Con el sistema de suspensión didáctico se puede determinar el estado de un amortiguador mediante el accionamiento del cilindro neumático, controla la presión que ejerce el amortiguador y la velocidad que tiene durante las pruebas. Con la obtención de estos datos el software desarrollado es capaz de calcular el coeficiente de compresión y de expansión  $C_c$ ,  $C_e$  respectivamente, modelando las gráficas de cada coeficiente.

Mediante pruebas se pudo determinar que el coeficiente de expansión  $C_e$  siempre va a ser mayor al coeficiente de compresión  $C_c$ , y con la relación entre estos dos coeficientes se puede determinar el estado del amortiguador; permitiéndonos desarrollar conocimientos y destrezas al momento que se realizan las practicasen el sistema de suspensión electroneumática. Por lo que se recomienda antes de usarlo conocer el manual de operación y de mantenimiento para lograr el buen uso y alargar la vida de esta indispensable herramienta de aprendizaje.



## ABSTRACT

The design and construction of a training bank is focused on student learning , School of Automotive Engineering , to demonstrate the technological advances in automotive field and specifically with cushions which is a very important part of the suspension system .

This project was performed with a structure design using software modeling and structural analysis software for finite element application to see the strength of this structure consists of a pneumatic system for the activation of the solenoid valve and cylinder tire which are controlled by sensors that receive orders on programming in LabVIEW and loaded into the acquisition card DAQ 6009.

With this equipment you can determine the state of a buffer by the actions of the pneumatic cylinder, where the pressure and speed cushion having controlled during testing. By obtaining these data, the developed software is able to calculate the coefficient of compression and expansion  $C_c$ ,  $C_e$  respectively, and so it is responsible for modeling the graphs of each coefficient.

By testing with this team was able to determine that the expansion coefficient  $C_e$  will always be greater than the compression ratio  $C_c$  and by the ratio of these two coefficients we will determine whether the damper is in good or bad condition.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Antecedentes**

La evolución de los sistemas de suspensión con más tecnologías incorporadas o desarrolladas, hacen que se utilice nuevas técnicas y herramientas cada vez más modernas en el entendimiento del funcionamiento de sus diferentes componentes.

La enseñanza teórica tanto como la práctica debe ir de la mano, mediante la utilización de textos, gráficas, casos reales y fundamentalmente equipos didácticos que den datos reales sobre el funcionamiento de los sistemas de suspensión en específico de los amortiguadores.

La construcción de este banco didáctico de pruebas será de manera sencilla para el fácil entendimiento de los estudiantes y así fomentar el interés por las prácticas desarrolladas e ir más allá de lo enseñado en clases o las prácticas realizadas.

El banco didáctico de pruebas va a estar ubicado en la EIA (Escuela de Ingeniería Automotriz), para la libre utilización de sus estudiantes y así fortalecer los conocimientos adquiridos.

El análisis de la investigación se basa en el marco teórico que será descrito en los capítulos del marco teórico y llevado a la práctica con la construcción del banco de pruebas y su posterior demostración de funcionamiento.

El estudio se hará analizando prototipos o modelos ya realizados y de ahí se extraerá lo más indispensable.

Mientras lo que no se va a utilizar o aplicar se eliminará para evitar problemas en el nuevo modelo, pasando al diseño estructural, construcción, ensamblaje y posterior demostración o utilización del mismo.

## **1.2. Justificación**

La complejidad que tiene el sistema de suspensión en especial los amortiguadores nos obliga a la adquisición y posterior utilización de modernos equipos para un mejor análisis y entendimiento del sistema, por lo tanto, es indispensable un banco de pruebas que muestre el funcionamiento y estado de los amortiguadores los cuales son indispensables en las suspensiones de los vehículos.

La necesidad de una mejor comprensión de funcionamiento de los diferentes componentes del sistema de suspensión en especial de los amortiguadores, y así mostrar los parámetros de trabajo que realizan los amortiguadores durante su vida útil.

La realización de este banco de pruebas para analizar el estado de los amortiguadores es de gran importancia, los daños más comunes en las suspensiones son muy complejos y requieren gráficas osciloscópicas para ver el correcto funcionamiento de dichos amortiguadores.

El banco de pruebas ayudará al fácil entendimiento y comprensión del desarrollo de los amortiguadores desde sus inicios hasta la actualidad, lo cual ayuda tanto a estudiantes como docentes hacer varias comparaciones entre los datos adquiridos con los datos establecidos de fábrica.

Al momento de la implementación del banco de pruebas en la EIA (Escuela de Ingeniería Automotriz), los docentes de la asignatura darán guías para un correcto manejo del banco de pruebas con su respectivo software, para así dar un correcto diagnóstico de las prácticas realizadas.

El desarrollo de este proyecto justifica la inversión hecha desde sus inicios hasta la culminación y posterior donación del banco de pruebas, debido a que se mejorará la enseñanza y los alumnos adquirirán mejores conocimientos tanto en la teoría como en la práctica.

## **1.3. Objetivos**

**1.3.1. *Objetivo general.*** Diseñar y construir un banco didáctico para amortiguadores con programación en LabVIEW, para el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

**1.3.2. Objetivos específicos:**

Realizar un estudio sobre los tipos de amortiguadores existentes en el mercado.

Estudiar el comportamiento dinámico de la suspensión específicamente de sus amortiguadores.

Investigar las presiones y los porcentajes de funcionamiento de los amortiguadores, para un estado de trabajo ideal.

Desarrollar el prototipo, las pruebas y realizar las correcciones respectivas del prototipo.

Elaborar una guía para el correcto uso del banco didáctico.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. Historia

Para los fabricantes de carruajes la preocupación más importante fue hacerlos más cómodos al momento de sus movimientos durante sus recorridos por las diferentes carreteras o caminos que existían.

En sus inicios estos carruajes eran impulsados por la tracción animal y esto hacia que al momento de pasar sobre un hoyo o piedra registraba la misma magnitud conque la rueda chocaba sobre el suelo esto ocurría a finales del siglo XIX.

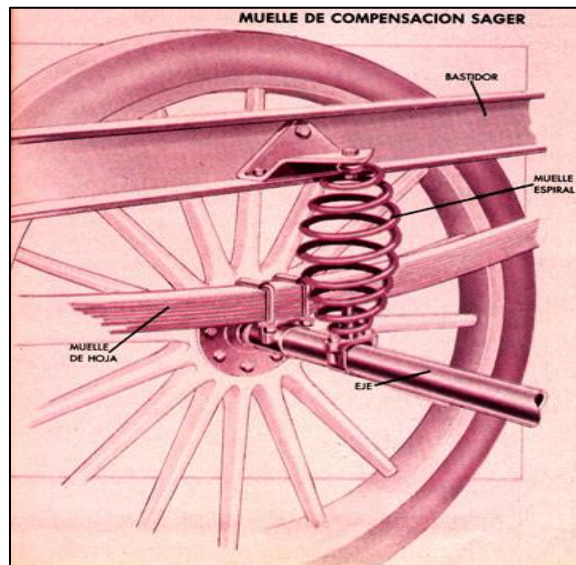
Figura 1. Carruaje con el primer amortiguador



Fuente:[http://www.monroe.com/images/support/english/tec\\_shockabsorbers\\_01.png](http://www.monroe.com/images/support/english/tec_shockabsorbers_01.png)

Con el fin de reducir estos molestos impactos en 1898, colocaron resortes y se acolchonaba los asientos pero esto no resolvió los problemas de incomodidad, pero mediante la colocación de correas de cuero en la carrocería desde los soportes hasta los ejes de tal manera que este carruaje quedaba sostenido por cuatro correas y cuatro soportes los cuales amortiguaban una proporción de las imperfecciones de los caminos a circular con el vehículo.

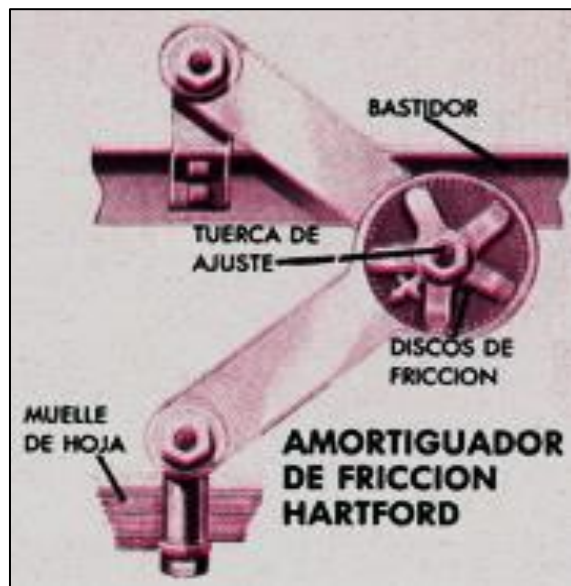
Figura 2. Amortiguador de muelle



Fuente: <http://karinyasser.blogspot.com/>

Uno de los primeros amortiguadores que salieron al mercado consistía de dos brazos simples que estaban unidos por un tornillo que a su vez estaban separados por un disco de fricción, este tornillo servía para realizar ajustes ya sea para apretar o aflojar, pero se esperaba que este tipo de amortiguadores iban a tener tiempo de vida útil muy pequeño y poco duradero y con esto su funcionamiento dejaría muchos malestares.

Figura 3. Amortiguador de fricción



Fuente: <http://karinyasser.blogspot.com/>

Los tipos de suspensiones actuales que son convencionales constan de dos elementos básicos, un muelle helicoidal o también llamado resorte y un amortiguador,

el cual básicamente tiene como función en absorber las anomalías de los caminos y así evitar que éstas se transmitan a la carrocería.

Este amortiguador a su vez tiene la capacidad de controlar las oscilaciones que efectúa la carrocería, con esta combinación resorte-amortiguador se obtiene una marcha segura, estable y cómoda según lo requiere el usuario.

Estos componentes anteriormente mencionados no pueden trabajar independientemente ya que están acoplados mediante un conjunto mecánico el cual está desarrollado respecto a su funcionamiento y se lo ha denominado suspensión.

## **2.2. Amortiguadores**

Los amortiguadores son elementos indispensables en la suspensión del automotor, por ello es una pieza esencial en la mecánica de un vehículo.

Son los elementos capaces de absorber energía cinética y cuya finalidad es amortiguar las oscilaciones dentro de un movimiento periódico lo mismo que realizan las rodillas en nuestro cuerpo; son capaces de amortiguar cualquier tipo de imperfección del terreno y mantener adheridos a él con un excelente equilibrio.

En cualquiera de sus formas o modelos de circulación, son esenciales, dado que permiten que los rodamientos se adhieran convenientemente al pavimento.

Los elásticos, son soportes de la suspensión y realizan un movimiento de rebote en el andar de todo tipo de vehículo, sobre todo en baches y cunetas en donde se exigen más a los amortiguadores y por ende a todas las partes que constan el sistema de suspensión del vehículo.

El uso de los amortiguadores es para evitar que el vehículo quede despegado del suelo, dado que éstos contienen las oscilaciones que siguen al despegue de las ruedas del pavimento.

Con los amortiguadores en buen estado se puede alargar la vida útil de los neumáticos en conjunto con una buena alineada y balanceada y así evitar que se deterioren por sus costados.

Figura 4. Amortiguadores



Fuente:[http://patiotuerca.com/ecuador/accesorios.nsf/anuncioidisplay/Amortiguador es--142369](http://patiotuerca.com/ecuador/accesorios.nsf/anuncioidisplay/Amortiguador%20es--142369)

***Función del amortiguador.*** Frena total o parcialmente los movimientos innecesarios que surgen durante el funcionamiento de un sistema mecánico, en este ámbito el amortiguador debe realizar amortiguaciones de movimientos inesperados de una manera casi óptima respetando su confort y maniobrabilidad.

En la fricción hay tres tipos: La fricción de coulomb es una fuerza que tiene una amplitud constante con respecto al cambio de velocidad (el signo de la fuerza de fricción cambia al invertir la dirección de la velocidad).

Se busca uno u otro tipo de fricción en función del tipo de amortiguador.

Los diseñadores y fabricantes de vehículos han concluido que la dependencia lineal entre la velocidad y la fuerza de amortiguamiento optimiza la absorción de 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 su adecuado confort y seguridad e marcha, protegiendo la carga y las piezas del automóvil, también evita la inclinación excesiva.

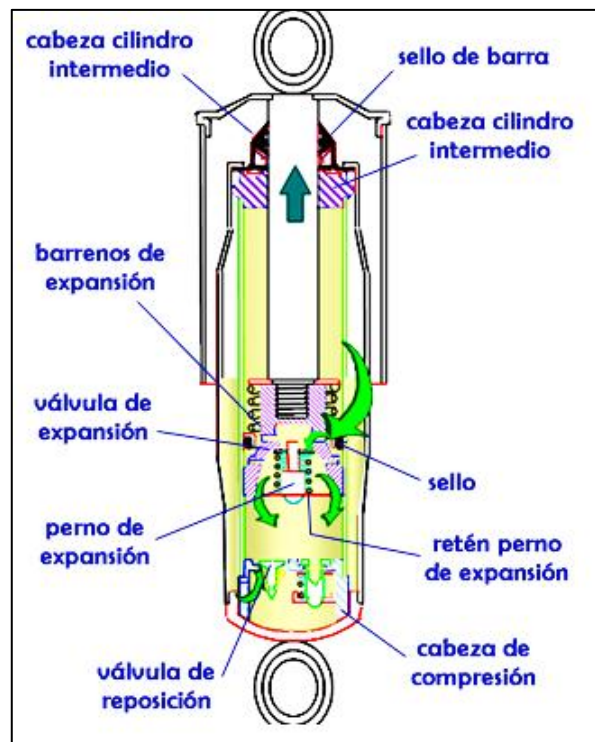


## 2.3. Funcionamiento

Los amortiguadores tienen un sistema básico de funcionamiento que consta de un pistón que va unido a la carrocería por medio de un vástago de fijación, y que se desliza en el interior de un cilindro que está ensamblado a la rueda y por el cual corre un fluido viscoso que puede ser un aceite especial o gas (donde vemos presente el uso de oscilación amortiguada). El pistón tiene una serie de agujeros calibrados por los que pasa el aceite entre las dos partes en las que está dividido el cilindro y deteniendo la oscilación gracias a que el resorte presenta resistencia ante el paso del fluido.

**2.3.1. Expansión (el amortiguador se abre).** Para que el amortiguador se abra, el pistón necesita subir y esto solo se logra si el aceite que está arriba del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuello del pistón y las ranuras que se hacen (codificados) en el asiento de la válvula de expansión. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión controlada. El actuar de estos tres elementos, proporciona las fuerzas del amortiguador que se conocen como resistencias hidráulicas.

Figura 5. Expansión del amortiguador



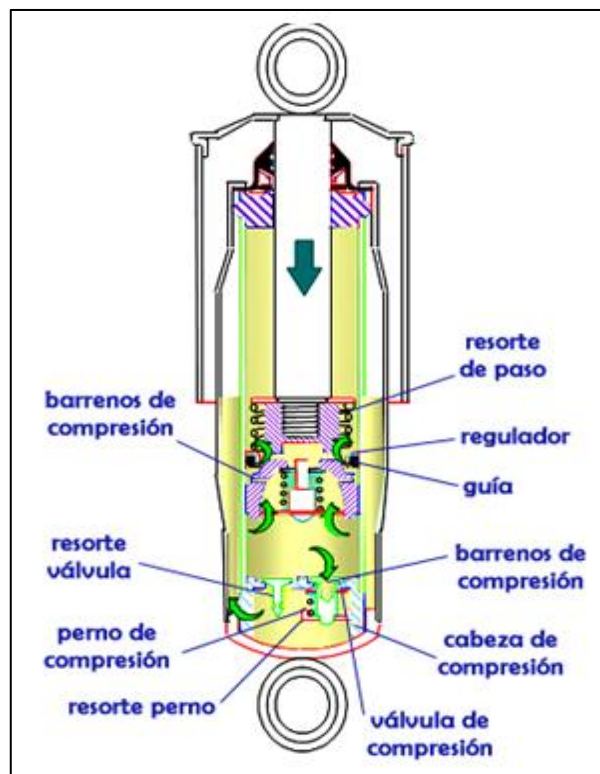
Fuente: <http://www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamientodelamortiguador.aspx>

**2.3.2. Compresión (el amortiguador se cierra).** Para que el amortiguador se cierre, el pistón necesita bajar y esto solo se logra si el aceite que está en la parte inferior del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuerpo del pistón y las ranuras que se hacen (codificados) en la cabeza de compresión donde se ubica la válvula de reposición.

Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de compresión ubicado en la cabeza de compresión que mantiene la válvula controlada.

Como en la expansión, el trabajo de estos elementos, genera las fuerzas del amortiguador que se conocen como resistencias hidráulicas.

Figura 6. Compresión del amortiguador



Fuente: [http://www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamiento delamortiguador.aspx](http://www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamiento%20delamortiguador.aspx)

## 2.4. Tipos de amortiguadores

Los amortiguadores son clasificados de acuerdo a su construcción y su funcionamiento de la siguiente manera:

### ***Clasificación por mantenimiento***

- Tipo de acción única
- Tipo de acción múltiple

### ***Clasificación por construcción***

- Amortiguador de un solo tubo
- Amortiguador de dos tubos

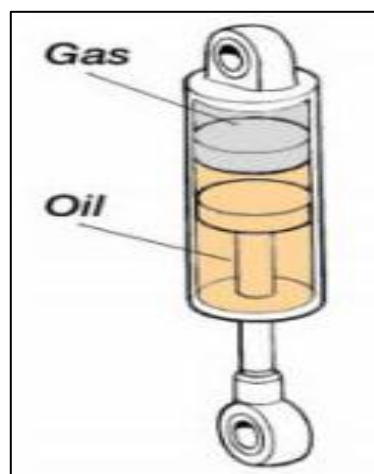
### ***Clasificación por medio de trabajo***

- Tipos hidráulicos
- Tipos llenos de gas

De estos tipos, los amortiguadores que utilizados en los modelos más comunes tienen de construcción de doble tubo o de un solo tubo y tipo de operación de acción múltiple. Recientemente, muchos amortiguadores llenados con gas de los tipos arriba mencionados ha empezado a utilizarse. (GRUPO CEAC, 2001)

**2.4.1** *Amortiguador de un tubo (monotubo).* El amortiguador monotubo apareció después de la versión bitubo, originalmente como amortiguador de altas prestaciones para competición. Está provisto de dos cámaras en las cuales contienen aceite y gas (hidrógeno) la cual está separada por un pistón flotante.

Figura 7. Esquema simplificado del monotubo

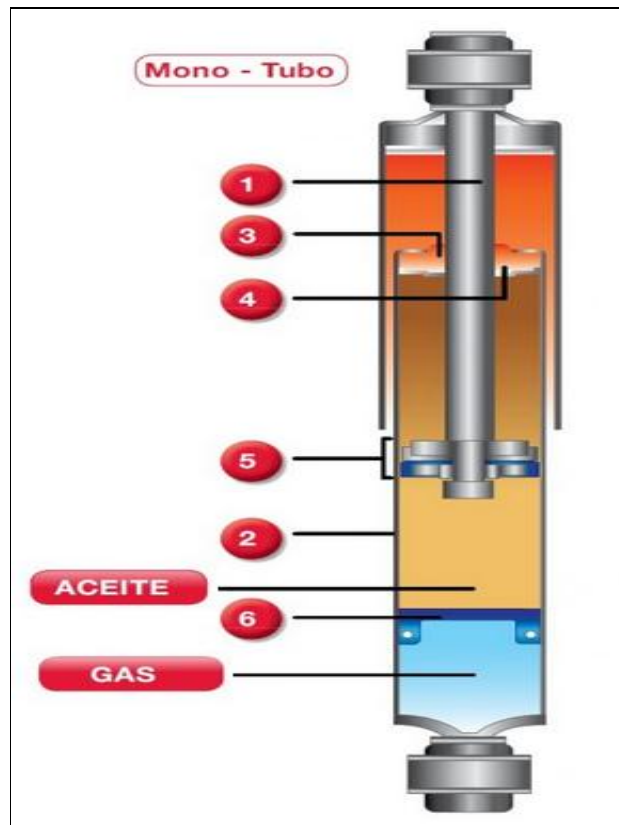


Fuente: <http://img683.imageshack.us/img683/8547/30701261.jpg>

Dentro del cilindro, la cámara de almacenaje del gas y de la cámara del líquido está separada por un pistón libre, que se denomina por que puede moverse libremente hacia arriba y hacia abajo.

**2.4.1.1 Partes de un amortiguador monotubo.** Los componentes principales de los amortiguadores monotubo son los siguientes:

Figura 8. Partes del amortiguador monotubo



Fuente: <http://www.kyb.com.pa/sp/productos/bi-tubo-vs-mono-tubo/&docid=1k6AHOd0lsEm5M&imgurl=>

Dónde:

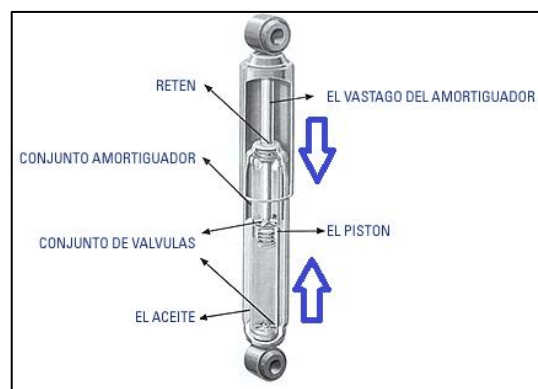
- 1 Vástago: Está recubierto de una gruesa capa de cromo endurecida para conseguir una larga duración y resistencia máxima,
- 2 Tubo de presión: Tiene un sellado que permite asegurar la longevidad del producto y evitar la entrada de polvo así como prevenir la corrosión.
- 3 Retén multilabios: Guía de aluminio auto-lubricado y que tiene una resistencia al desgaste.
- 4 Guía de vástago: Ayuda a la estabilidad y correcto funcionamiento del vástago.
- 5 Válvula del pistón: Tiene un válvulado de disco y muelles de acero, regula con precisión el flujo de aceite para un control óptimo de la compresión y el efecto rebote.
- 6 Pistón flotante: De material sintético con sellado de baja fricción que mejora la respuesta de amortiguación.

**2.4.1.2 Carrera de compresión (bote).** A diferencia del amortiguador bitubo, el monotubo no tiene cámara de reserva de aceite, y como su nombre indica, el funcionamiento se produce dentro de un sólo cilindro o tubo.

El problema de ubicar el volumen de aceite desplazado por el espacio que ocupa el vástago, se soluciona con la incorporación de una cámara con volumen variable.

Para ello se incorpora un pistón flotante que separa la cámara hidráulica de la variable en la que se introduce un gas bajo presión que puede oscilar entre 20 y 40 bares.

Figura 9. Carrera de compresión del amortiguador



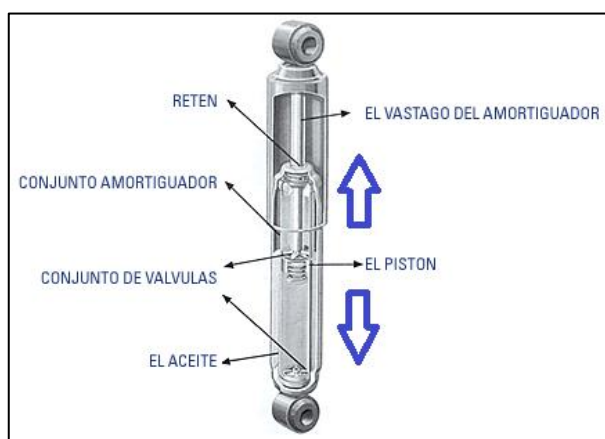
Fuente: <http://www.norauto.com.ar/images/productos/mecanicaProdImg06.gif>

Al empujar hacia abajo el pistón del vástago, éste hace que el aceite empuje al pistón flotante y comprima el gas haciendo que la presión aumente en ambos lados, tanto en la cámara hidráulica como en la del gas. El aceite se ve obligado a pasar a través de las válvulas del pistón y la resistencia que se opone a la fuerza de amortiguación mediante la válvula al paso de aceite.

**2.4.1.3 Carrera de extensión (rebote).** Al estirar el vástago el pistón hacia arriba, el aceite que hay por encima del pistón hace que se comprima y tenga que pasar por las válvulas, y la resistencia que encuentra a su paso es la fuerza de amortiguación en extensión, debido a la disminución de presión por debajo del pistón, hace que el pistón flotante recupere su posición original y así compensar el volumen liberado por el vástago.

Tanto en la compresión y la extensión se observa la división que se produce en el flujo de aceite según vaya por el paso permanente o por las válvulas de apertura de presión.

Figura 10. Carrera de extensión del amortiguador



Fuente: <http://www.norauto.com.ar/images/productos/mecanicaProdImg06.gif>

**2.4.1.4 Ventajas y desventajas de los amortiguadores monotubo.** Para este tipo de amortiguadores podemos encontrar ventajas muy buenas pero a la vez se presentan desventajas significativas para ello mostramos la siguiente tabla:

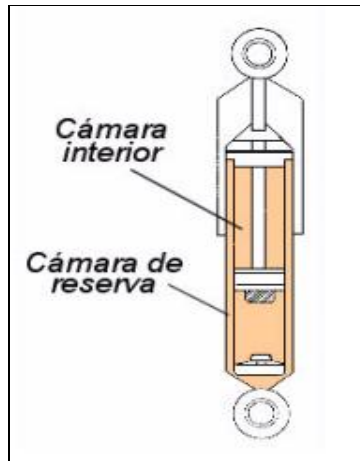
Tabla 1. Ventajas y desventajas de los amortiguadores monotubo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El aire al estar contacto con la cámara del amortiguador tiene una buena refrigeración.	Los costos son mayores debido a la precisión estanquidad y tolerancia del gas
Se reduce precisiones de operación debido a un mayor diámetro del pistón.	La valvulería de este tipo de amortiguadores es más compleja.
Al estar estacionado el vehículo el nivel de aceite del amortiguador no baja, evitando funcionamientos deficientes.	Su mayor necesidad de espacio puede aumentar su longitud por encima de 100 mm en aplicaciones a automóviles.
El aceite no forma espuma debido a la presurización, incluso a altas frecuencia y con pequeñas vibraciones evita la cavitación.	Puede sufrir variaciones debido a la presión interna del gas y a la diferencia de áreas efectivas a ambos lados del pistón.

Fuente: Autor

**2.4.2 Amortiguador de dos tubos (bitubo).** Son los más comunes en la actualidad. A su vez los hay de dos tipos: no presurizados (aceite) y presurizados (con aceite y gas). Constan de dos cámaras una llamada interior y otra de reserva. Hay válvulas en el pistón y en la base del amortiguador, llamada válvula de pie. (CHACON, 2009)

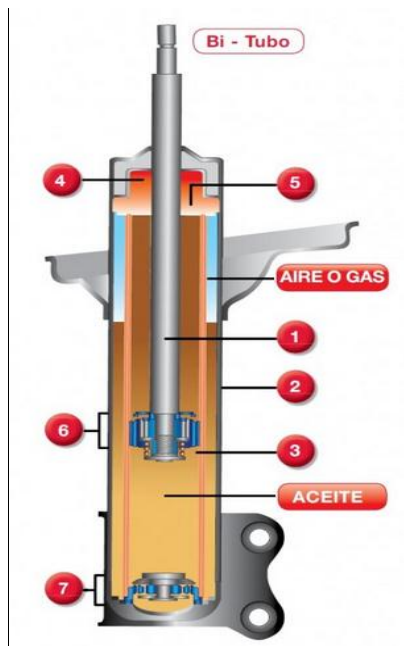
Figura 11. Esquema simplificado del amortiguador bitubo



Fuente: <http://img99.imageshack.us/img99/2449/71417218.jpg>

**2.4.2.1 Partes de un amortiguador bitubo.** Los componentes principales de los amortiguadores de doble tubo son los siguientes:

Figura 12. Partes del amortiguador bitubo



Fuente: <http://www.kyb.com.pa/sp/productos/bi-tubo-vs-mono-tubo/&docid=1k6AHOd0IsEm5M&imgurl=>

1 Vástago: El vástago va unido al pistón y desempeña un papel importante. No solamente ha de ser muy robusto para soportar esfuerzos mecánicos, también su estado superficial tiene gran importancia. El vástago está fabricado en acero templado por inducción que va después cromado. Ha de ser lo más liso posible a fin de evitar cualquier rugosidad que pudiera causar el desgaste del retén de aceite. La capa de cromo duro confiere al vástago una excelente resistencia a la corrosión

- 2 Cilindro exterior: Es la parte que recubre y contiene todas las partes y elementos de los amortiguadores.
- 3 Cámara de trabajo: Es el interior del amortiguador donde el aceite es accionado por medio del vástago y de las válvulas.
- 4 Reten multilabios: A través del cual se desliza el vástago subiendo y bajando en el amortiguador es muy importante por sí mismo: debe retener el aceite en el interior del amortiguador y mantener fuera los agentes exteriores (agua, sales, polvo).
- 5 Guía de vástago: Es una guía auto-lubricada resistente al desgaste.
- 6 Válvula de pistón: Tiene un valvulado de disco y muelles de acero, regula con precisión el flujo de aceite para un control óptimo de la compresión y el efecto rebote.
- 7 Válvula inferior: Abre o cierra los conductos de dimensiones exactas a través de las cuales pasa el aceite a presión. Al ser acero inoxidable mantiene sus características durante más de 20 millones de ciclos.

**2.4.2.2 Carrera de compresión (bote).** Cuando el vástago penetra, el aceite contenido en la cámara interior fluye sin resistencia a través de sus orificios y la válvula de no-retorno hacia el espacio generado al otro lado del pistón. Simultáneamente, una cierta cantidad de aceite se ve desplazada por el volumen que el vástago va ocupando en la cámara interior.

Este aceite forzosamente pasa por la válvula de pie hacia la cámara de reserva, la cual está llena de aire a 1 bar o nitrógeno entre 4 y 8 bar. La fuerza de amortiguamiento viene dada por la resistencia que pone la válvula de pie al paso del aceite.

**2.4.2.3 Carrera de extensión (rebote).** Al tirar del vástago hacia fuera el aceite que queda por encima del pistón se comprime y pasa a través de las válvulas que hay en él. La resistencia que el aceite encuentra en dichas válvulas es la fuerza de amortiguamiento de extensión.

El aceite que había llegado a la cámara de reserva vuelve sin resistencia por la válvula de pie a la cámara interior para compensar el volumen liberado por el vástago.

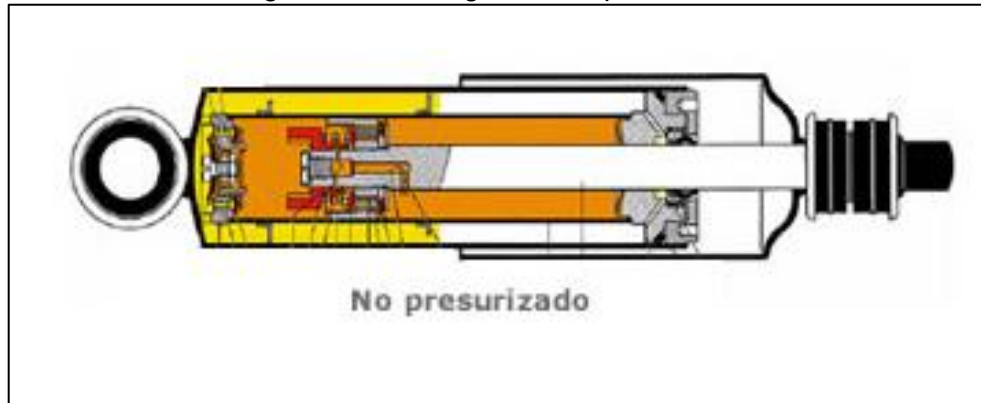
**2.4.2.4 No presurizados.** Tienen la pega de que se puede formar en ellos bolsas de aire bajo las siguientes condiciones:

- El amortiguador se almacena o transporta horizontal antes de ser instalado.
- La columna de aceite de la cámara principal cae por gravedad cuando el vehículo permanece quieto durante mucho tiempo.



- El aceite se contrae como consecuencia de su enfriamiento al final de un viaje y se succiona aire hacia la cámara principal.

Figura 13. Amortiguador no presurizado

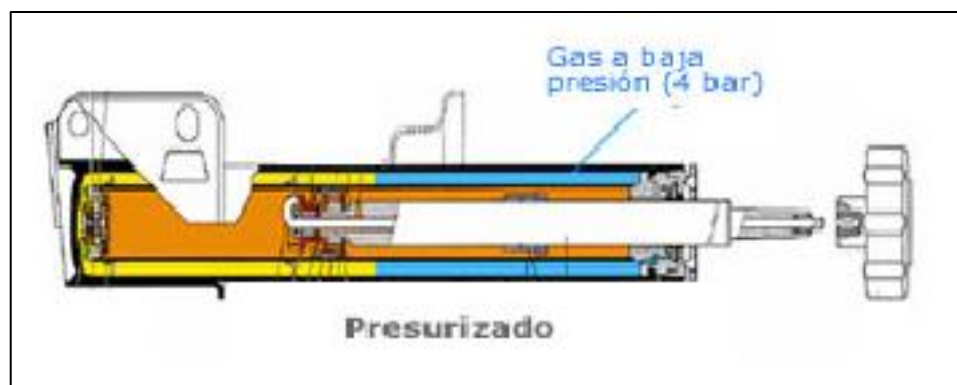


Fuente: <http://www.bbsport.es/SUSPENSIONES/BILSTEIN/bitubo.jpg>

Como consecuencia de ello, en especial en días fríos, algunos amortiguadores pueden padecer lo que se conoce como “enfermedad matinal”. Existen en el mercado algunas soluciones para evitar esto.

**2.4.2.5 Presurizados.** Es un tipo de configuración empleada hoy en día en la mayoría de vehículos cuando se busca mejorar las prestaciones de los amortiguadores de doble tubo convencionales. La solución consiste en añadir una cámara de gas de baja presión. 4 bares es una presión suficiente, ya que la fuerza amortiguadora en compresión la sigue proporcionando la válvula de pie. De esta forma la fuerza de extensión realizada por el amortiguador en su posición nominal es baja. Esto permite utilizar esta solución en suspensiones McPherson en las que se requieren diámetros de amortiguador más elevados.

Figura 14. Amortiguador presurizado



Fuente: [http://www.bbsport.es/SUSPENSIONES/BILSTEIN/bitubo\\_gas.jpg](http://www.bbsport.es/SUSPENSIONES/BILSTEIN/bitubo_gas.jpg)

**2.4.2.6 Ventajas respecto a los no presurizados y al monotubo.** En este tipo de amortiguadores podemos encontrar ventajas en su mayoría respecto a los no presurizados entre las cuales detallamos las siguientes:

Tabla 2. Ventajas respecto no presurizados-monotubo

<b>Ventajas</b>	<b>Respecto No Presurizados</b>	<b>Respecto Monotubo</b>
Respuesta de la válvula más sensible para pequeñas amplitudes.	Si	X
Mejor confort de marcha.	si	X
Reducción de ruido hidráulico.	si	X
Siguen operativos aunque pierdan el gas.	si	X
Mejores propiedades de amortiguación en condiciones extremas (grandes baches).	si	X
Los de doble tubo presurizados tienen la ventaja de tener una menor longitud y fricción para las mismas condiciones de operación	X	si

Fuente: Autor

**2.4.3 Amortiguadores llenos de gas a baja presión.** El amortiguador lleno de gas a baja presión es un amortiguador de tipo de dos tubos (bitubo) que está parcialmente lleno de gas a baja presión (10-15 kg/cm<sup>2</sup>).

Así se evita la generación del ruido debido a la cavitación y a la aireación que tiene lugar en los amortiguadores que tienen solo líquido.

La minimización de la cavitación y de la aireación hace también posible obtener una fuerza de amortiguamiento más estable, mejorado de este modo el confort y la estabilidad de la marcha.

La construcción y operación del amortiguador lleno de gas a baja presión es básicamente la misma que la del amortiguador del tipo de dos tubos, pero en algunos amortiguadores llenos de gas a baja presión, se ha eliminado la válvula inferior para que se genere la fuerza de amortiguamiento tanto durante el bote como en el rebote mediante la válvula del pistón.

**2.4.3.1 Cavitación.** Cuando a líquido circula a alta velocidad dentro del amortiguador, la presión baja en algunas partes, formando bolsas de aire o cavidades en el líquido. Este fenómeno se denomina cavitación, estas cavidades explotan cuando llevan a partes con alta presión, ocasionando una gran presión de impacto, lo cual genera ruido, causa fluctuaciones de la presión y puede dañar hasta el mismo amortiguador.

En los amortiguadores, existen momentos en el ciclo de trabajo, (generalmente cuando trabajan a altas velocidades) en los que las presiones de las cámaras (o presiones locales dentro de éstas) se encuentran por debajo de la presión de vapor del aceite, produciéndose la generación de vapor en forma de burbujas que implosionan de forma muy violenta cuando la presión crece por encima de la presión de vapor, lo cual conduce a la generación de ondas expansivas de muy elevada magnitud y altamente destructivas.

El fenómeno descrito se conoce como cavitación, y es el causante de comportamientos anómalos en los amortiguadores (reducciones inesperadas de la fuerza de amortiguamiento o retraso en la fuerza de amortiguación).

Una forma de reducir este fenómeno consiste en introducir el aceite de trabajo lo más puro posible y sin permitir su aireación, ya que la generación de las burbujas suele producirse o bien teniendo como núcleo las impurezas microscópicas que existen en forma de partículas sólidas microscópicas o bien teniendo como núcleo las burbujas de aire disuelto con el aceite. El introducir un aceite más puro que otro supone, a efectos prácticos, disminuir la presión de vapor.

Lógicamente, la introducción de un aceite más puro aumenta el coste del producto, motivo suficiente en la industria como para no utilizar dicha solución.

***Cavitación en el amortiguador monotubo.*** La arquitectura del amortiguador monotubo permite presurizar de forma “residual” el aceite de trabajo mediante la presión inicial del gas, lo cual dificulta la generación de las burbujas, y lo hace especialmente resistente a la cavitación. Aun así, para altas velocidades de trabajo en condiciones severas o para temperaturas elevadas del aceite, se puede producir la cavitación.

Generalmente, en este tipo de amortiguadores, la cavitación sólo se produce en el ciclo de compresión dentro de la cámara de tracción, cuando la velocidad es

suficientemente elevada como para producir una caída de presión entre las cámaras de forma que la diferencia entre la presión actual del gas y la caída de presión se encuentre por debajo de la presión efectiva de vapor del aceite.

En tales circunstancias, el aceite cavitará hasta que la presión aumente por encima de la presión de vapor y un tiempo suficientemente elevado como para permitir la desaparición total de la fase gaseosa. En la cámara de compresión no se suele producir nunca el fenómeno de la cavitación, ya que está continuamente sometido a la presión del gas mediante el pistón flotante, presión muy superior a la de vapor.

No obstante, aunque la cámara de tracción se encuentre por encima de la presión de vapor del aceite, se puede producir el fenómeno de la cavitación en el chorro de fluido saliente de las válvulas del pistón, habida cuenta que su velocidad implica una disminución local de su presión absoluta.

La manera más eficaz de prevenir la cavitación en el amortiguador monotubo consiste en aumentar la presión del gas con el fin de aumentar la presión absoluta en ambas cámaras, debiendo tener en cuenta que el aumento de la presión tiene efectos sobre la fuerza de amortiguamiento, tendiendo a abrir el diagrama de fuerza-presión y modificando la fuerza de amortiguamiento en su conjunto.

***Cavitación en el amortiguador bitubo.*** El fenómeno de la cavitación en el amortiguador de doble tubo suele ser más acusado y difícil de resolver que en el amortiguador monotubo.

En la fase de compresión sucede un efecto análogo al del amortiguador monotubo dentro de la cámara de tracción en el cual, para una velocidad suficientemente elevada, la caída de presión existente entre las cámaras de compresión y de tracción hace que la presión del aceite se encuentre por debajo de la presión de vapor y se genere la fase vapor.

Puede ocurrir un efecto similar al descrito dentro de la cámara de compresión en el ciclo de tracción, si bien no es tan usual.

En la cámara de reserva es difícil que se produzca la cavitación debido a que la presión suele estar cercana a la atmosférica (o a la residual) y sus cambios son poco importantes.

De la misma forma que sucede en el amortiguador monotubo, si las velocidades de trabajo son elevadas, el lugar donde aparece la cavitación sin que las cámaras de trabajo alcancen la presión de vapor es en el chorro de fluido que sale de las válvulas.

Debido a las presiones locales existentes. Se puede deducir que, por lo que respecta a la cavitación, la más fácil aparición de ésta en el amortiguador de doble tubo se presenta como una desventaja en frente del monotubo.

La solución al problema de la cavitación en el amortiguador monotubo no suele pasar por el aumento de la presión del gas debido a los costes de producción que supone sino que se buscan soluciones alternativas como optimizar las secciones del pistón y del vástago para conseguir una disminución de las presiones existentes o el aumento de las presiones existentes en las cámaras de trabajo mediante válvulas de la base más restrictivas en compresión y más permisivas en tracción.

*Aireación.* La aireación se produce por la mezcla del aire con el líquido del amortiguador, esto puede ocasionar ruido, fluctuaciones de la presión y pérdida de presión en el amortiguador.

## **2.5 Características de los amortiguadores**

Hasta el momento se ha descrito el funcionamiento de los amortiguadores hidráulicos telescópicos para los automóviles tipo turismo e incluso se ha hecho una clasificación en función de cómo se absorbe el volumen introducido en la cámara de trabajo por el vástago una vez iniciado el movimiento.

Es momento de precisar, aunque sea de forma genérica, el rango de actuación de los amortiguadores y describir los métodos en que se suelen informar de las características de actuación del amortiguador en cuestión, que es lo que se denomina caracterización de los amortiguadores.

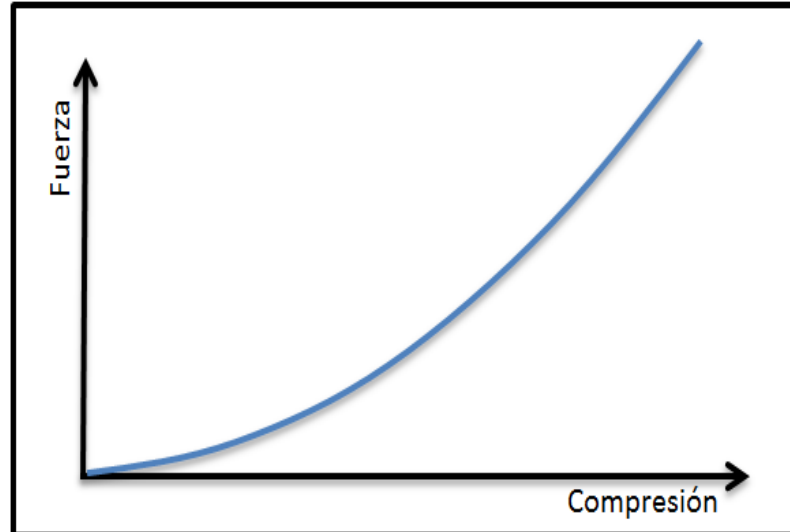
**2.5.1 Rangos de actuación del amortiguador.** El amortiguador, igual que sucede con cualquier otro mecanismo, está pensado para operar dentro de unos rangos determinados de desplazamiento y de velocidad, rangos que se determinan a partir de la experimentación y de la experiencia acumulada en el sector.

Conocer los límites de actuación del amortiguador resulta de especial interés, sobre todo en lo que se refiere al apartado experimental ya que, de no conocerlos, se podría trabajar en un régimen demasiado elevado que podría tener como consecuencias resultados poco útiles y en el peor de los casos, la rotura del material utilizado.

Se entiende por rangos de actuación del amortiguador los desplazamientos y velocidades máximas a las que se encuentra sometido en condiciones normales de funcionamiento, valores que no necesariamente son las condiciones límite a las que se puede someter al amortiguador.

**2.5.2 Desplazamiento máximo.** Si bien se encuentran rangos concretos de actuación en lo que refiere a velocidad, no es usual acotar el rango de actuación del amortiguador en lo que a desplazamiento se refiere ya que, en casos extremos (como son cambios bruscos de rasante a altas velocidades o fuertes escalones sobre la vía), la suspensión puede trabajar al límite de su carrera de compresión o de extensión, encontrándose acotada o no por el propio amortiguador.

Figura 15. Gráfica simplificada del desplazamiento



Fuente: Autor

En la carrera de compresión y con el fin de evitar el contacto entre partes sólidas en estos casos extremos, se dota, bien en la parte más externa del vástago del amortiguador y de forma concéntrica a este o bien en algún punto del mecanismo de suspensión, de unos topes de caucho o goma elástica tales que, a medida que son comprimidos, aumentan su resistencia de forma exponencial tal y como se muestra en la figura 15.

Dando como resultado un incremento muy elevado en la fuerza equivalente de compresión sobre el sistema de suspensión pero comportándose, a su vez, de forma progresiva.

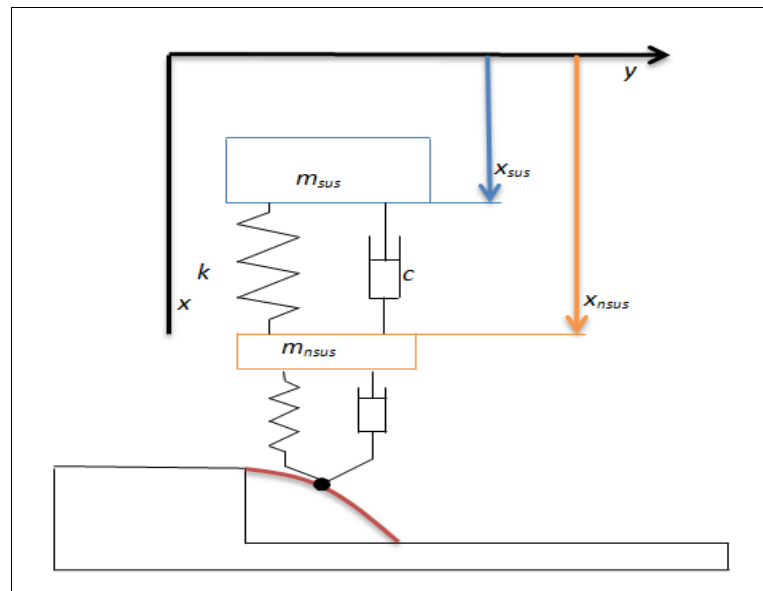
Normalmente, para el ciclo de extensión es el propio amortiguador el que internamente se encuentra dotado de un tope de plástico semielástico, situado de forma concéntrica al vástago y correctamente fijado mediante algún tope interno, el cual tiene la misión de evitar el contacto entre partes metálicas a la vez que debe ser capaz de frenar el movimiento de la suspensión de forma rápida y progresiva.

**2.5.3 Velocidad máxima.** Como se ha comentado, sí es usual acotar el margen de actuación del amortiguador en cuanto a velocidad se refiere.

En el ciclo de extensión, la velocidad máxima a que se someterá el amortiguador aparecerá cuando la rueda pierda el contacto con el suelo y se produzca la caída libre del vehículo o parte de él.

En la figura 16 se muestra un esquema de la situación descrita basado en el modelo de un cuarto de vehículo.

Figura 16. Esquema simplificado de la velocidad máxima

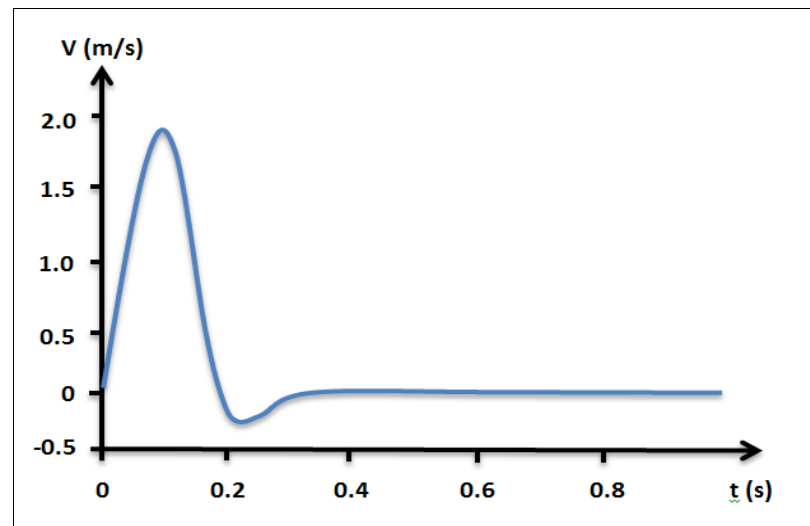


Fuente: Autor

Integrando las ecuaciones provenientes de un análisis Newtoniano del sistema permite obtener la solución mostrada en la figura 17. Para su obtención, se ha considerado un

vehículo que tiene por masa suspendida 1120 kg, 50kg por eje de masa no suspendida, un coeficiente de amortiguamiento medio para el amortiguador de 950Ns/m y una constante elástica del muelle de la suspensión de 17500N/m (sistema sub-amortiguado) y se ha supuesto que la posición inicial relativa entre las masas antes de llegar a la caída libre es de equilibrio estático (velocidad inicial relativa nula).

Figura 17. Grafica simplificada de la velocidad máxima



Fuente: Autor

Se observa que la velocidad máxima a la que se encuentra sometido el amortiguador en el ciclo de extensión es del orden de 2m/s.

El proceso de deducción de la velocidad máxima a compresión es radicalmente diferente al empleado para extensión ya que, en extensión es el muelle el único responsable de separar la masa suspendida de la no suspendida mientras que en compresión son elementos externos a través del neumático los responsables de comprimirlo.

Teóricamente no existe limitación en la velocidad máxima de compresión ya que la fuerza de entrada (o desplazamiento) sobre el neumático puede ser tan grande como se quiera. No obstante se presentarán casos prácticos que serán útiles para determinar la velocidad de compresión máxima que se suele presentar en el amortiguador.

El primer caso que se contemplará consiste en determinar la velocidad relativa entre la masa suspendida y no suspendida cuando el vehículo circula por una vía ondulada.



Dentro de tal situación, el caso más desfavorable se produce cuando la ondulación de la vía coincide con la frecuencia propia del sistema, es decir, cuando la frecuencia excitatriz se encuentra alrededor de 1Hz. La velocidad máxima que se alcanza para una oscilación forzada se obtiene de la teoría de la vibración.

$$V_{max} = Aw = 2A\pi f \quad (1)$$

Dónde:

$A$  = la amplitud del desplazamiento

$\omega$  = la frecuencia de la oscilación

$$y, \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2)$$

El movimiento extiende y comprime totalmente el amortiguador y que éste tiene un recorrido útil de 0,2m, la velocidad máxima a la que trabajará el amortiguador es:

$$V_{max} = Aw$$

$$V_{max} = 2A\pi f$$

$$V_{max} = 2A\pi \frac{\omega}{2\pi}$$

$$V_{max} = 2 * 0.1 * \pi * 1$$

$$V_{max} = 0.6 \frac{m}{s}$$

En una conducción extrema, por lo que rara vez se dará en condiciones normales.

En las maniobras de entrada en curvas también se hace trabajar al amortiguador a tracción y compresión si bien no se contemplará tal situación ya que las velocidades máximas que se suelen dar son del orden de 1m/s en casos muy extremos.

El último caso a que se debería contemplar para la determinación de la velocidad máxima corresponde al de aceleración o frenado, caso que tampoco se tendrá en cuenta debido a que en tales maniobras el amortiguador trabaja a unas velocidades inferiores a los 0.5m/s, lo cual implica que la fuerza de amortiguación se controla mediante los denominados circuitos de baja velocidad.

Lógicamente, en las condiciones reales de trabajo, nunca se dan las situaciones citadas por separado sino que la velocidad resultante del amortiguador es una combinación de los casos anteriores.

La experiencia muestra que en vehículos automóviles tipo turismo, la velocidad máxima de amortiguamiento que se alcanza en condiciones normales de uso es del orden de 0.3m/s, para condiciones de conducción fuertes o vías en mal estado se alcanza la velocidad de 1m/s y muy rara vez la velocidad de funcionamiento se sitúa entre 1 y 2 m/s, motivo por el cual se limita el margen de actuación del amortiguador en lo que a velocidad se refiere al rango de  $\pm 2$ m/s

Contrariamente a lo que se piensa, las velocidades de actuación de los amortiguadores para vehículos de competición son inferiores a las que se dan para vehículos normales ya que, la optimización de la maniobrabilidad tiende a amortiguamientos más restrictivos y muelles más rígidos, lo cual hace que la fuerza transmitida sea mucho mayor, impidiendo una velocidad relativa elevada entre la masa suspendida y no suspendida. Como ejemplo clarificador, para una conducción fuerte sobre un Fórmula Indy se alcanzan velocidades normalmente inferiores a los 0.4m/s.

**2.5.4 Representación de fuerzas de amortiguamiento.** Existen tres formas diferentes de caracterizar el comportamiento del amortiguador. La primera es por medio el coeficiente de amortiguamiento, la segunda en presentar gráficamente la fuerza generada con respecto a la posición relativa del pistón y la tercera consiste en presentar la dependencia de la fuerza con la velocidad relativa de sus partes.

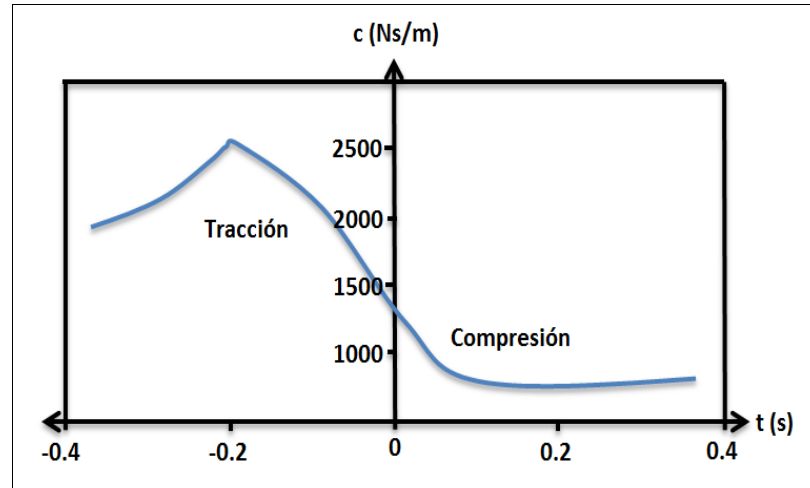
**2.5.4.1 Coeficiente de amortiguamiento.** La primera consiste en presentar el coeficiente de amortiguamiento (constante de proporcionalidad entre la fuerza generada y la velocidad). El caso más sencillo ocurre cuando únicamente se da a conocer el coeficiente de amortiguamiento medio, pudiendo distinguir entre dos valores distintos para el ciclo de compresión y el de extensión.

La gran ventaja de este método es su sencillez, permitiendo un estudio simplificado del comportamiento del vehículo.

La gran desventaja es que se está asumiendo que la relación entre la fuerza y la velocidad es lineal, lo que suele inducir a error debido a que generalmente dicha relación suele ser compleja, perdiendo detalles del comportamiento como pueden ser

la cantidad de histéresis que presenta el amortiguador, la presión de apertura de las válvulas limitadoras o la dependencia con la posición y la aceleración.

Figura 18. Representación simplificada del coeficiente de amortiguamiento en función



Fuente: Autor

La derivación lógica de este método consiste en hallar el coeficiente de amortiguamiento definido como la relación puntual entre la fuerza y la velocidad. El resultado se puede presentar en forma de gráfico, tal y como se muestra en la figura 18.

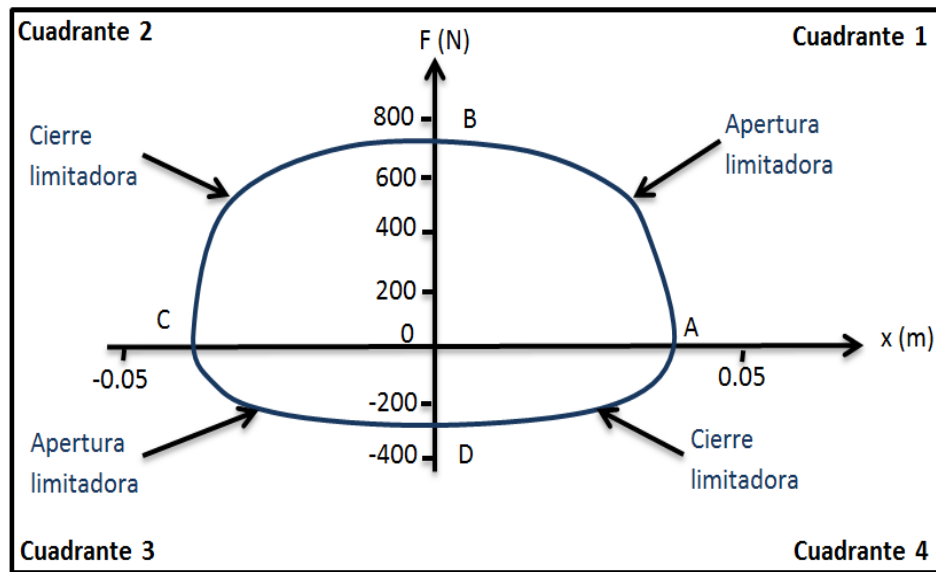
O bien mediante un ajuste de la curva obtenida, en el cual se suele utilizar como variable independiente la velocidad, siendo opcional el uso de la posición e incluso la aceleración en función de la calidad de representación que se desee obtener.

Esta gráfica muestra visualmente el comportamiento de la compresión y de la tracción en el funcionamiento de un amortiguador.

**2.5.4.2 Gráfico fuerza-posición.** Otra de las formas de caracterizar al amortiguador proviene de la representación gráfica de la fuerza de amortiguamiento en función de la posición del pistón de trabajo una vez escogido el nivel cero y para una frecuencia dada.

Se muestra un ejemplo de este tipo de gráfico para un amortiguador real en la figura 19, donde se ha mantenido el criterio de velocidad positiva en el ciclo de compresión y se ha escogido el origen de coordenadas en la posición media de la carrera.

Figura 19. Gráfica simplificada de fuerza-posición



Fuente: Autor

El punto A del cuadrante 1 corresponde al inicio del ciclo de tracción (por lo que su compresión es máxima). A partir de este punto empiezan a trabajar las válvulas de baja velocidad hasta el punto en que la presión es suficiente para abrir las limitadoras.

En el punto B se alcanza la velocidad máxima del amortiguador para el ciclo de tracción, por lo que la característica de actuación está gobernada por la actuación conjunta de las válvulas de alta y baja velocidad.

Es en algún punto del segundo cuadrante cuando se produce el cierre total de las limitadoras a tracción, por lo que nuevamente son los conductos de baja velocidad los que determinan la fuerza de amortiguamiento.

Una vez se ha alcanzado el punto C del tercer cuadrante, el amortiguador se encuentra en su máxima extensión y comenzando el ciclo de compresión.

En la primera zona, de la misma forma que sucedía en el inicio del ciclo de tracción, la fuerza de amortiguamiento está gobernada por las válvulas de baja velocidad a compresión, hasta el punto en que las limitadoras empiezan a funcionar.

El punto D es el momento de máxima velocidad de compresión y el comportamiento del amortiguador está definido tanto las válvulas de baja como de alta velocidad. Nuevamente, en algún momento del cuarto cuadrante, las válvulas limitadoras a

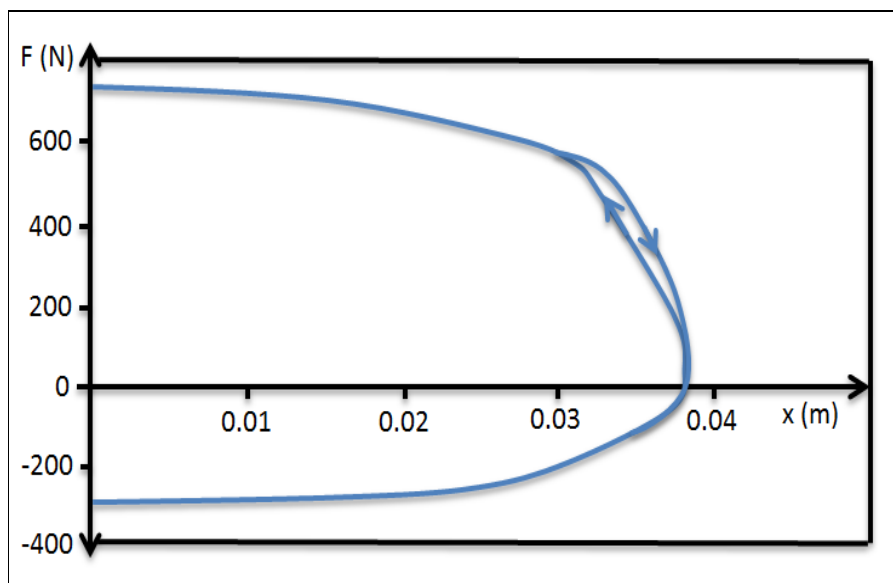
compresión cierran y el comportamiento se encuentra impuesto por las válvulas de baja velocidad.

La ventaja del gráfico posición fuerza frente al coeficiente de amortiguamiento es que permite la determinación directa de la fuerza de amortiguamiento a la vez que permite observar los momentos de apertura y de cierre de las válvulas limitadoras.

Como ya se ha mencionado repetidas veces, es deseable que la fuerza de amortiguamiento sea una función de la velocidad debido a que es la velocidad la determina los caudales circulantes por las válvulas.

Por lo que el gran inconveniente que presenta este método es no mostrar dicha variable de forma explícita, si bien es deducible a partir de la frecuencia a la que se han obtenido los datos.

Figura 20. Gráfica simplificada de fuerza-posición, cuadrante 1y4

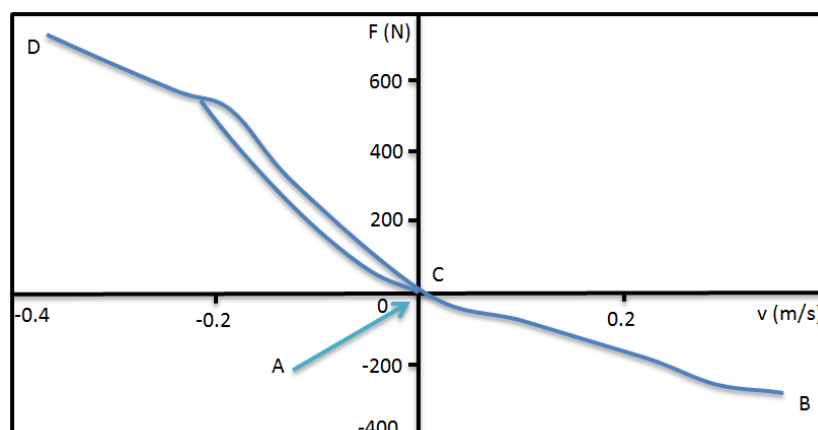


Fuente: Autor

**2.5.4.3. Gráfico fuerza-velocidad.** El método más empleado para la caracterización del amortiguador debido a las ventajas que aporta consiste en la representación gráfica de la fuerza de amortiguamiento en función de la velocidad de trabajo de éste.

Se muestra un ejemplo en la figura 21, donde se han representado los puntos A, B, C y D obtenidos anteriormente en el gráfico de Fuerza-Posición.

Figura 21. Gráfica simplificada fuerza-posición



Fuente Autor

La representación gráfica de la fuerza de amortiguamiento en función de la velocidad permite visualizar de una forma directa la linealidad del amortiguador. Como se había mencionado con anterioridad, los fabricantes de automóviles tratan de que la fuerza de amortiguamiento dependa de forma lineal con la velocidad, hecho que, como se puede observar, está lejos de la realidad para los amortiguadores reales.

Otra de las ventajas del gráfico anterior es que permite observar de forma clara la cantidad de histéresis presente en el amortiguador.

La representación de la velocidad como variable independiente permite hacerse una idea del “grado” de sollicitación a la que se encuentra expuesto el amortiguador en el ciclo de trabajo, hecho que no sucedía en la representación de la fuerza como función de la posición.

Por último, cabe comentar que un gráfico de este tipo, del mismo modo que lo hacía el gráfico de fuerza posición, permite ver los momentos de apertura y cierre de las válvulas limitadoras, lo cual facilita su ajuste en el caso en que la unidad lo permita. (BÁEZ, 2001)

## CAPÍTULO III

### 3 DISEÑO ESTRUCTURAL Y SELECCIÓN DE LAS PARTES NEUMÁTICAS

#### 3.1. Diseño estructural

**3.1.1. Bancada de equipos.** Es la parte básica de toda máquina o equipo, donde se ubican todos los conjuntos fundamentales de la máquina o equipo, la misma debe soportar la acción de las fuerzas que desarrolla el equipo y asegurar la situación relativa correcta y el desplazamiento de los órganos de trabajo de la máquina.

Para la instalación de los órganos móviles de trabajo en la bancada, se elaboran superficies especiales de apoyos llamadas guías. (WIKIPEDIA, 2013)

**3.1.2. Requisitos técnicos de las bancadas.** los requisitos principales son los siguientes:

- La correcta y apropiada disposición de los conjuntos de la máquina que garantiza la precisión de elaboración.
- La invariabilidad de la forma de la bancada en todos los regimenes de trabajo previstos dado por la resistencia, sencillez de elaboración, ahorro de metal y bajo costo que se logra con adecuada selección del material, adecuado proceso de fabricación, aseguramiento de una rigidez estática y dinámica de la bancada, puentes y columnas y suficiente resistencia al desgaste de las guías.

**3.1.3. Materiales de construcción.** La selección del material para las bancadas depende de sus condiciones de trabajo, método de elaboración y cantidad de máquina que se van a construir.

- En la mayoría de los casos se construyen de hierro fundido gris ordinario., si las guías pertenecen al cuerpo de la bancada, el hierro fundido en cuestión debe poseer una alta resistencia al desgaste.
- Es muy empleado el hierro fundido con grafito laminar de los tipos CY 21-40 hasta el CY 35-56 (CY hierro fundido gris). Su dureza es HB-170-241, con temple aumenta considerablemente su dureza.

- Para bancada de poca importancia se utiliza el hierro fundido tipo CY 18-36, este no se temple y posee dureza HB-60-230.
- El hierro fundido tipo CY 21-40 con estructura perlítica es recomendada para bancadas medianas de configuración simple con pared de 10 a 30mm de espesor, El tipo CY 28-40 para espesor de pared de 20 a 60mm. Para bancadas muy cargadas y con una pared cuyo espesor sea mayor de 20mm, se recomiendan usar los tipos CY 32-52 ó CY 35-56 que poseen una alta resistencia tanto a la tracción como al desgaste.
- Para bancadas se puede utilizar también miembros estructurales

**3.1.4. Método de elaboración de las bancadas.** Existen dos variantes:

- Fundidas.
- Soldadas.

Al seleccionar el método de elaboración de las bancadas, es preciso tener en cuenta todos los índices técnico-económicos de ambas variantes. Las bancadas soldadas se construyen cuando se quiere hacer una o varias máquinas en corto tiempo o cuando no es recomendable construir los moldes para fundición.

**3.1.4.1 Parámetros seleccionados para la bancada del equipo.** Material de acero estructural, para la adecuación de la bancada se realizara la unión de los elementos estructurales por medio de soldadura, se selecciona electrodos 6011 que son adecuados para la soldadura de elementos estructurales ya que los dos materiales tienen características mecánicas similares.

**3.1.4.2 Bancada de miembros estructurales.** La bancada del banco de pruebas estará constituida por perfiles estructurales comunes que sean fáciles de adquirir. En el diseño estructural se exponen los resultados del análisis por el método de cargas extremas, para un banco de pruebas de amortiguadores.

El cálculo tensional – deformacional asistido por computadora por el método del estado de carga extremas, se utiliza como procedimiento de predicción en las etapas de diseño, esto permite simular el comportamiento estructural cuando ocurran grandes cargas que puedan provocar daños severos si la estructura no es capaz de resistirlas.



Mediante este método se puede evaluar simuladamente las tensiones en los elementos estructurales que en la realidad tienen dos componentes, una estática y una dinámica.

Las tensiones estáticas, son aquellas que surgen producto del peso de sus componentes y de las cargas variables que pueden producirse. Las tensiones dinámicas surgen debido a las fuerzas de inercia, a regímenes de sollicitación extrema como: superación de irregularidades, impacto debido al pistón neumático, etc.

### 3.2. El análisis estructural

Se realizó, bajo las siguientes condiciones

- Para la modelación geométrica se considera a la estructura como un sistema tridimensional de barras de nodos rígidos, por lo tanto se utiliza elementos finitos barra de 6 grados de libertad por nodo.
- El material de los elementos estructurales, al tratarse de acero, se considera como elástico lineal.
- Las cargas se aplican como distribuidas y concentradas de acuerdo a su naturaleza, considerándolas constantes en el tiempo.
- La variación de la geometría de la estructura bajo la aplicación de cargas se considera despreciable (hipótesis de pequeños desplazamientos).
- La estructura se modela con elementos finitos de 6 grados de libertad.

**3.2.1** *Materiales estructurales utilizados.* En la siguiente tabla se detalla los materiales estructurales utilizados en la realización de este proyecto.

Tabla 3. Materiales estructurales utilizados

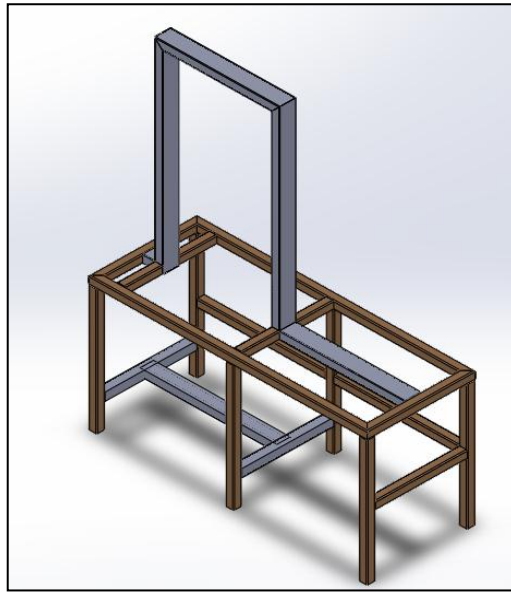
DENOMINACIÓN	NORMA	PROPIEDAD MECÁNICA	MARCA / FABRICANTE
Tubería Estructural	ASTM A36	Resistencia a la tracción = 2800 Kg / cm <sup>2</sup>	IPAC
Platina	ASTM A36	Resistencia a la tracción = 2800 Kg / cm <sup>2</sup>	IPAC

Fuente: Autor

**3.2.2 Modelo geométrico.** Para modelar la estructura resistente del banco de pruebas se utilizaron:

- a) Elemento de barra de 6 grados de libertad.
- b) Elementos tipo placa

Figura 22. Modelado de la estructura



Fuente: Autor

**3.2.3 Asignación de materiales y propiedades.** En el software de elementos finitos se debe asignar adecuadamente el material que se va a utilizar para el estudio.

Figura 23. Asignación de materias para estudio

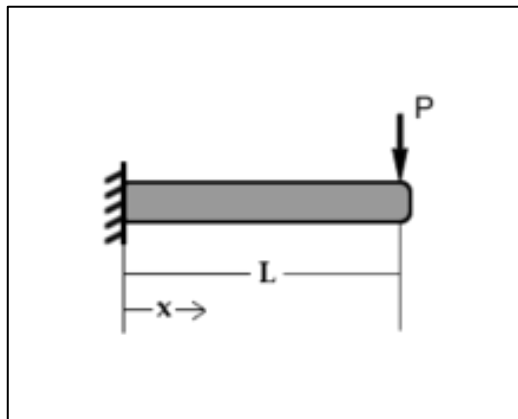
Property	Value	Unit
Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
Strain-Life Parameters		
Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Fuente: Autor

**3.2.4 Asignación de empotramientos.** Un empotramiento es un tipo de unión entre sólido resistente y otro sólido inmóvil respecto a un sistema referencia también inmóvil, que elimina por completo la posibilidad de movimiento de un sólido respecto al otro en los puntos del empotramiento.

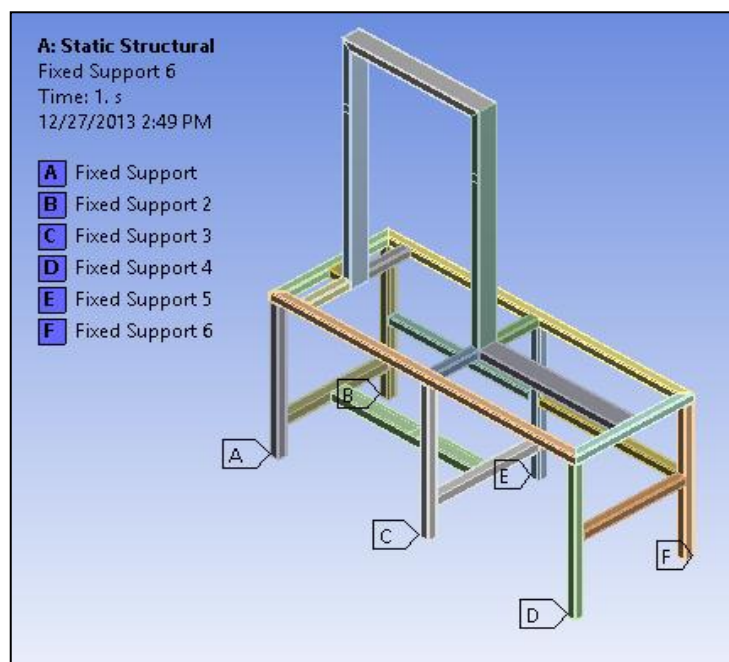
Matemáticamente un empotramiento reduce el número de grados de libertad de los puntos del mismo. En el conjunto de puntos del empotramiento  $E$  el vector desplazamiento  $\mu$  satisface las siguientes condiciones de contorno: (WIKIPEDIA, 2013)

Figura 24. Ménsula con símbolo en su extremo



Fuente: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Beam\\_Cantilevered\\_Load\\_end.png/220px-Beam\\_Cantilevered\\_Load\\_end.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Beam_Cantilevered_Load_end.png/220px-Beam_Cantilevered_Load_end.png)

Figura 25. Fuerzas de empotramiento



Fuente: Autor

**3.2.5 Fuerzas aplicadas a una estructura.** Se distinguen dos tipos de fuerzas actuando en un cuerpo: las externas y las internas.

- Las externas son las actuantes o aplicadas exteriormente y las reacciones o resistentes que impiden el movimiento.
- Las internas son aquellas que mantienen el cuerpo o estructura como un ensamblaje único y corresponden a las fuerzas de unión entre sus partes.
- Las actuantes son aquellas cargas a las que se ve sometida la estructura por su propio peso, por la función que cumple y por efectos ambientales. En primera instancia se pueden subdividir en cargas gravitacionales, cargas hidrostáticas y fuerzas ambientales: sismo, viento y temperatura.
- Las gravitacionales son aquellas generadas por el peso propio y al uso de la estructura y se denominan gravitacionales porque corresponden a pesos. Entre ellas tenemos las cargas muertas y las cargas vivas.

Otra clasificación de las cargas es por su forma de aplicación: dinámicas y estáticas.

- Las cargas dinámicas son aquellas aplicadas súbitamente y causan impacto sobre la estructura. Las cargas estáticas corresponden a una aplicación gradual de la carga.

### **3.3. Cargas gravitacionales en la estructura**

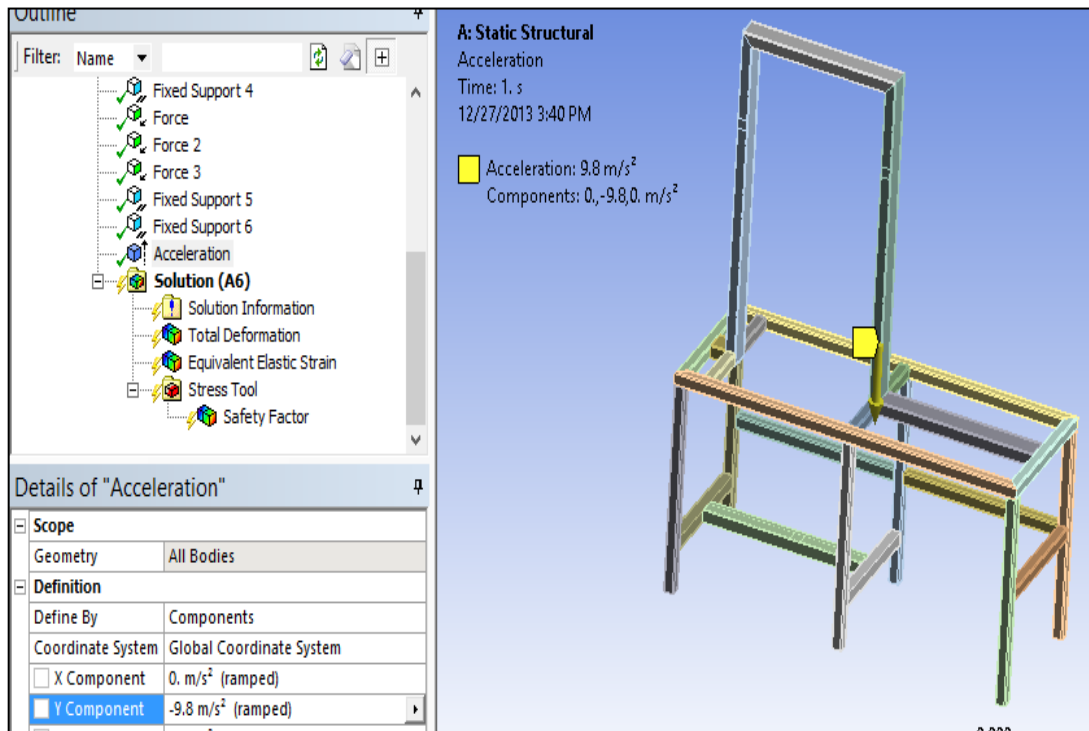
**3.3.1 Cargas muertas.** Son cargas permanentes que se encuentran ubicadas en las estructuras y que no son debidas al uso de la estructura, es decir estas cargas no intervienen en el funcionamiento.

En esta categoría se pueden clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas, techos, etc.

Dentro de las cargas muertas también se pueden clasificar aquellos equipos permanentes en la estructura.

En general las cargas muertas se pueden determinar con cierto grado de exactitud conociendo la densidad de los materiales. (ASOSISMICA, 2000)

Figura 26. Carga debido al peso de la estructura



Fuente: Autor

**3.3.2 Cargas vivas.** Corresponden a cargas gravitacionales debidas a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella.

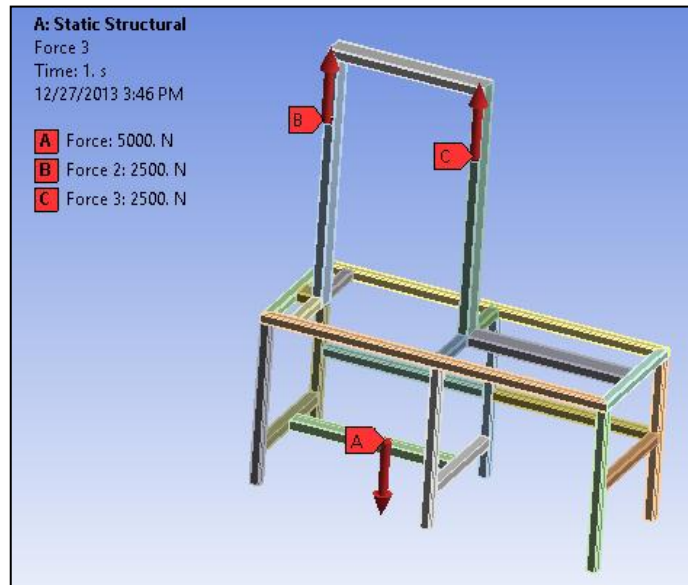
Debido a la característica de movilidad y no permanencia de esta carga el grado de incertidumbre en su determinación es mayor.

La determinación de la posible carga de diseño de una edificación ha sido objeto de estudio durante muchos años y gracias a esto, por medio de estadísticas, se cuenta en la actualidad con una buena aproximación de las cargas vivas de diseño según el uso de la estructura. Las cargas vivas no incluyen las cargas ambientales como sismo o viento.

Para efectos de diseño es el calculista quien debe responder por la seguridad de la estructura en su vida útil.

Para esto cuenta con las ayudas de las normas y códigos de diseño donde se especifican las cargas vivas mínimas a considerar todas los cálculos necesarios para este análisis. (ASOSISMICA, 2000)

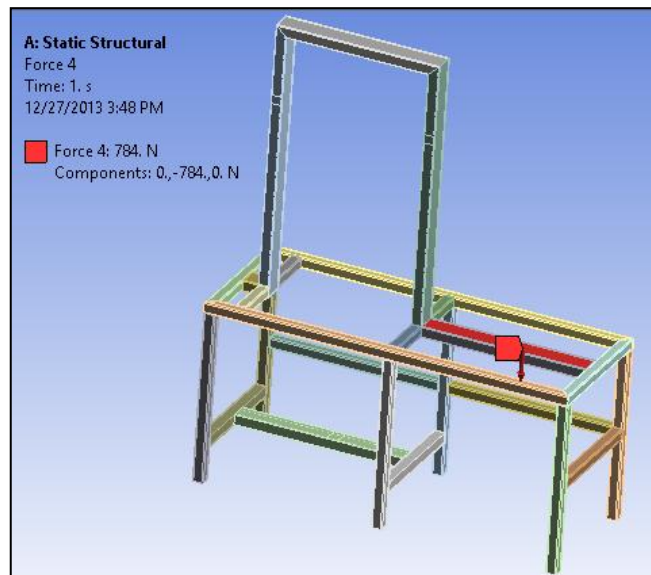
Figura 27. Cargas máximas desarrolladas por el pistón



Fuente: Autor

**3.3.3 Carga adicional.** Comprende equipos que se puede utilizar en prácticas futuras a desarrollarse, persona que puede hacer mantenimiento del equipo, etc.

Figura 28. Cargas adicionales

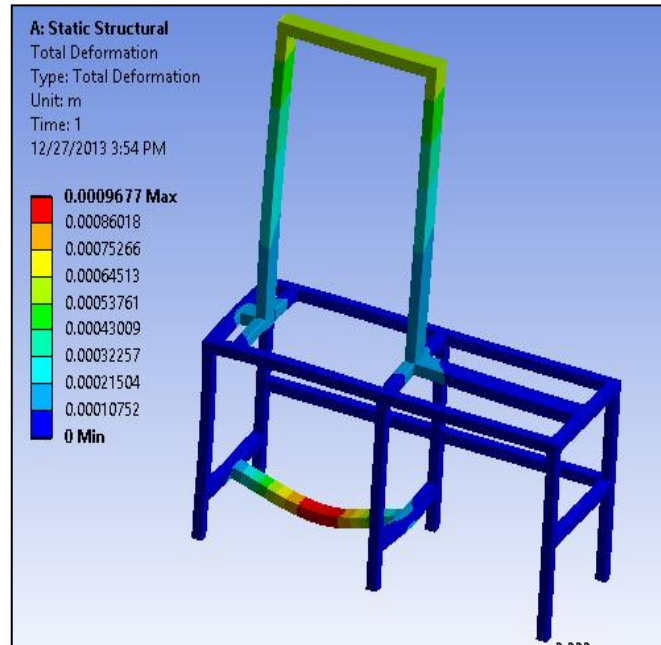


Fuente: Autor

**3.3.4 Fuerzas ambientales.** Comprende las cargas debido a viento, lluvia, sismo, granizo, ceniza, etc. En el caso del equipo no se toman en cuenta estas fuerzas ya que no está expuesto a ellas. (ASOSISMICA, 2000)

3.3.5 *Resultados de deformación.* Aplicando software de elementos finitos la deformación tiene valores bajos como muestra la figura.

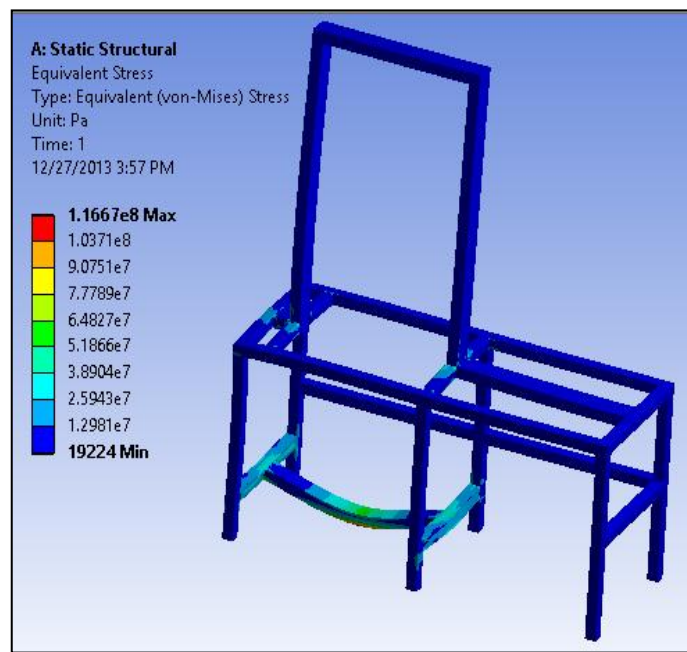
Figura 29. Deformación de estructura



Fuente: Autor

El esfuerzo que realiza la estructura es el siguiente:

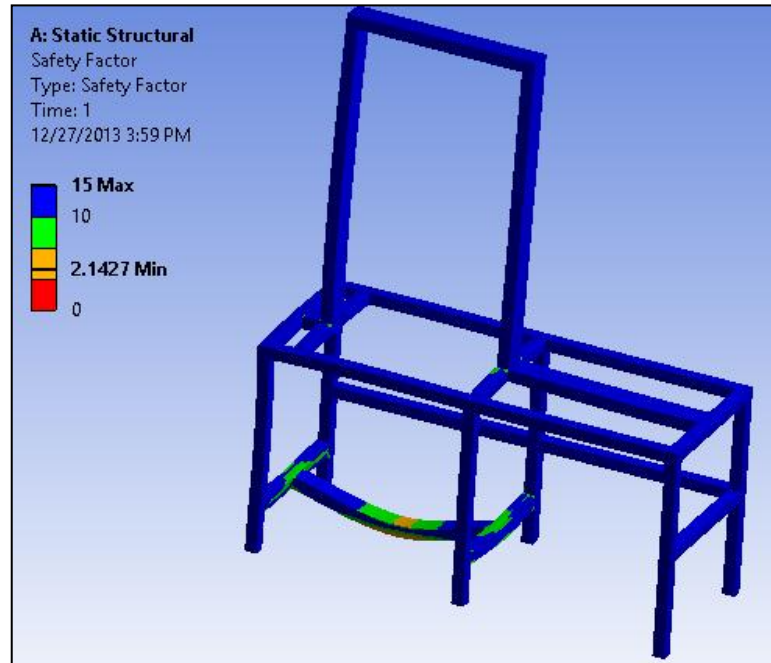
Figura 30. Esfuerzo de estructura



Fuente: Autor

Todo diseño estructural debe tener un factor de seguridad el cual lo obtenemos la siguiente figura

Figura 31. Factor de seguridad



Fuente: Autor

El factor de seguridad mínimo es de 2.1427 el cual nos indica que la estructura resistirá a cualquier posible esfuerzo excesivo en el futuro.

### 3.4. Neumática

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y que éste ha utilizado y utiliza para ampliar sus recursos físicos. De los antiguos griegos procede la expresión "Pneuma", que designa la respiración, el viento y, desde el punto de vista filosófico, también el alma. Como derivación de las ideas que representa la palabra "Pneuma" se obtuvo, entre otras cosas el concepto Neumática, que trata los movimientos y procesos del aire.

**3.4.1** *Ventajas de la neumática.* Algunas de sus ventajas principales son:

- El aire es de fácil captación y abunda en la tierra
- Es un tipo de energía limpia
- El aire no posee propiedades explosivas, por lo que no existen riesgos de chispas



- Las velocidades de trabajo de los elementos neumáticos son razonablemente altas y fácilmente regulables
- El trabajo con aire no provoca efectos de golpes de ariete, con lo que no daña los componentes de un circuito
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente
- Los cambios de temperatura no afectan de manera significativa.
- Permite cambios instantáneos de sentido en los componentes.

**3.4.2** *Desventajas de la neumática.* Todas estas ventajas son de gran importancia, pero no olvidemos que, como todas las tecnologías, también tiene algunos inconvenientes. Para evitar la parcialidad, enumeremos sus desventajas más notables:

- 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.
- Genera altos niveles de ruido debido a la descarga del aire hacia la atmósfera.

**3.4.3** *Automatización.* Podemos definirla como un conjunto de elementos tecnológicos que realizan una serie de funciones y operaciones sin la intervención del hombre, o con mínima participación.

Para operar el conjunto de recursos tecnológicos que origine una automatización, es necesaria la energía. Entre las varias formas energéticas esta la neumática, que constituye el primer paso para transformar la mecanización en automatización.

Si bien la utilización de la técnica del aire comprimido como fuente energética es empleada, cada vez más, para la racionalización y automatización, ésta es relativamente cara y podría llegarse a suponer que los costos de producción, acumulación y distribución del aire involucran gastos elevados.

Esto no es exacto, pues en el cálculo de rentabilidad de una instalación, no sólo debe tomarse en cuenta el costo energético y los gastos de instalación, sino también los ahorros de mano de obra, los gastos de mantenimiento y el aumento de la producción

logrado. El resultado final es que el costo energético es despreciable y las inversiones de instalación fácilmente amortizables.

El aire comprimido puede utilizarse:

- a) Directamente, como elemento de trabajo
- b) Para accionamiento de motores, embragues, cilindros o herramientas
- c) Regulado por medio de válvulas y elementos accesorios, para impulsar una gran variedad de movimientos mecánicos
- d) En combinación con equipos oleohidráulicos, para obtener con un coste reducido ciclos de trabajo precisos en bajas velocidades
- e) Con la electricidad, para accionamientos a larga distancia y para los movimientos rotativos.
- f) En el accionamiento y posterior funcionamiento de las partes mecánicas eléctricas y neumáticas de los equipos y maquinarias

**3.4.3.1 Propiedades del aire comprimido.** Entre las propiedades se destacan las siguientes:

- Generación del aire comprimido sin limitaciones ya que la materia prima es sin costo.
- Fácil distribución, no precisa recuperación.
- Fácil de acumular en tanques o depósitos.
- Puede ser utilizado en ambientes explosivos o inflamables.
- No interfiere con el medio ambiente.
- Los componentes son de costo moderado y de fácil aplicación.
- Admite altas velocidades de trabajo, regulación de fuerzas, no tiene problemas por bloqueos o detenciones forzadas por sobrecarga.

Para delimitar el campo de utilización de la neumática, es preciso conocer también las propiedades adversas:

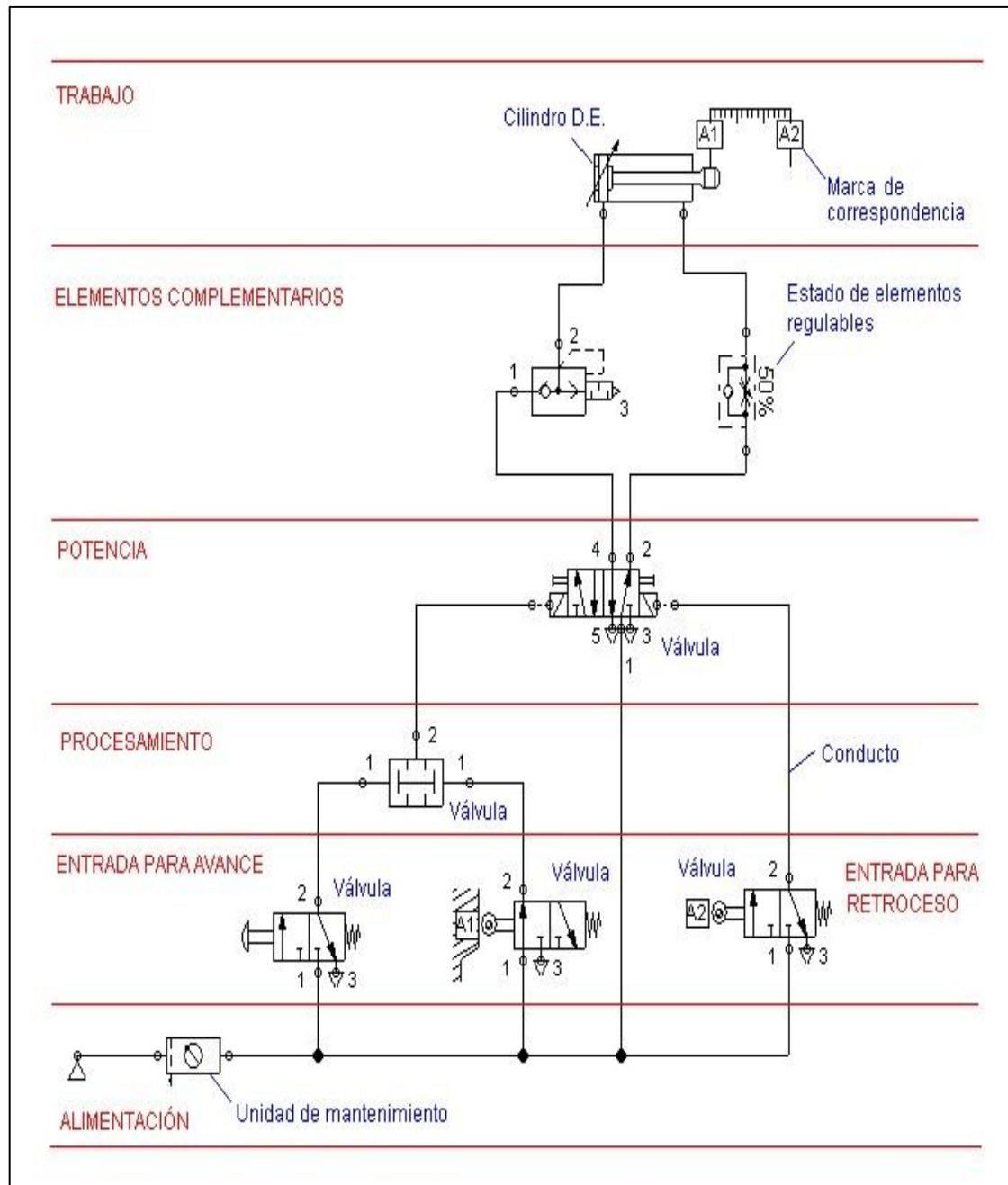
**Compresibilidad:** esta característica impide obtener velocidades constantes a resistencias variables.

**Fuerzas:** limitaciones prácticas de aproximadamente 40000 Newton (4000Kg.) en forma directa.

**3.4.4 Representación esquemática de circuitos neumáticos.** Para poder representar instalaciones y circuitos neumáticos, así como los elementos que los componen, existen símbolos internacionales para la esquematización y representación.

Podemos dividir un circuito neumático, de manera general, en las partes que veremos a continuación. (**BUENACHE**, 2000)

Figura 32. Partes principales de un circuito neumático, representación y componentes



Fuente: [http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Imagenes/Capitulo1/1\\_37.jpg](http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Imagenes/Capitulo1/1_37.jpg)

Cada una de estas partes tiene una función determinada y conviene saber diferenciarlas. Es muy recomendable, de cara a la claridad y comprensión de los circuitos, repasar la disposición de los elementos en el esquema para minimizar la cantidad de cruces y tratar de llevar a cabo la disposición, en la medida de lo posible, según la figura anterior.

### **3.5 Selección del actuador neumático**

**3.5.1 Actuador neumático.** Es un elemento que permite efectuar la transformación de la energía de presión transmitida por el aire, en energía mecánica, es decir en trabajo, se denominan actuadores neumáticos. Existe una clásica división, entre los elementos de trabajo neumático, basadas en sus posibilidades de actuación: los elementos o actuadores de acción lineal y los de acción rotativa. Aunque, por otra parte, se han desarrollado tantas formas y modelos que prácticamente todas las industrias han encontrado una aplicación insustituible de los mismos.

Al tratar de generar un movimiento rectilíneo sin partir de uno de rotación, vemos bastante limitado nuestro campo de acción. Entre los elementos posibles, después de un prolijo análisis, se encuentran: el electroimán, el resorte, el plano inclinado (aprovechamiento de la gravedad) y finalmente la energía de presión. Cada uno de los casos anteriores, salvo el último, no permite un control sencillo del movimiento.

Un actuador neumático estándar adecuado para una instalación debe cumplir:

- Que exista en el tamaño que lo necesito (diámetro y longitud)
- Que su rozamiento interno sea lo más bajo posible y su vida útil sea lo más larga posible
- Que su montaje o instalación sea simple y rápida
- Que existan gran variedad de diseños para adaptarlos a nuestra necesidad
- Que pueda utilizarse con o sin lubricación
- Que resista los esfuerzos de tracción, compresión y térmicos sin deformarse.

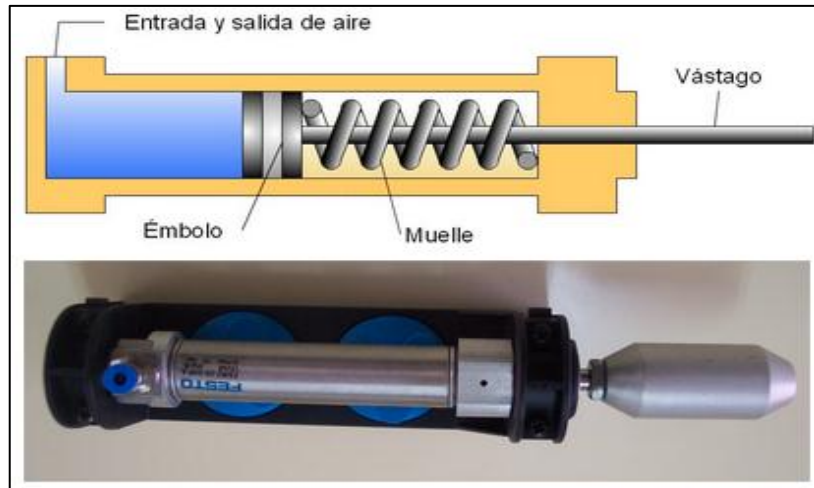
**3.5.1.1 Cilindro de simple efecto.** Se trata de un tubo cilíndrico cerrado dentro del cual hay un émbolo unido a un vástago que se desplaza unido a él. Por un extremo hay un orificio para entrar o salir el aire y en el otro está albergado un muelle que facilita el retorno del vástago.

Este tipo de cilindro trabaja en un solo sentido, cuando el aire entra en él. El retroceso y desalojo del aire se produce por la fuerza del muelle que está albergado en el interior del cilindro.

La fuerza de empuje que realiza hacia fuera el vástago corresponde con la fórmula.

$$\text{Fuerza} = \text{Presión del aire} * \text{Superficie del émbolo} - \text{Fuerza del muelle}$$

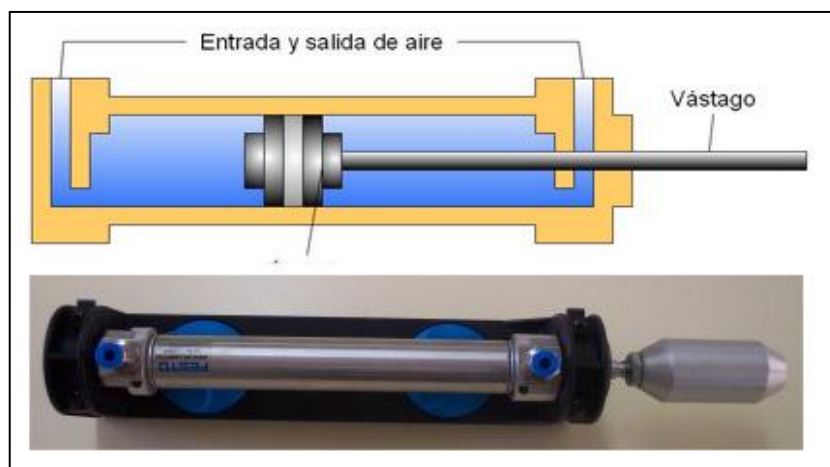
Figura 33. Cilindro de simple efecto



Fuente:[http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/imagenes/cilindro\\_simpleefecto\\_muelle.jpg](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/imagenes/cilindro_simpleefecto_muelle.jpg)

**3.5.1.2 Cilindros de doble efecto.** Se trata de un tubo cilíndrico cerrado con un diseño muy parecido al cilindro de simple efecto, pero sin el muelle de retorno, el retorno se hace por medio de otra entrada de aire.

Figura 34. Cilindro de doble efecto



Fuente:[http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/imagenes/cilindro\\_dobleefecto.jpg](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/imagenes/cilindro_dobleefecto.jpg)

Este tipo de cilindro trabaja en los dos sentidos, cuando el aire entra en él produce fuerza y desaloja el aire que está en el otro compartimento. El retroceso y desalojo del aire se produce cuando el aire entra por el otro orificio.

La fuerza de empuje que realiza hacia fuera el vástago corresponde con la fórmula.

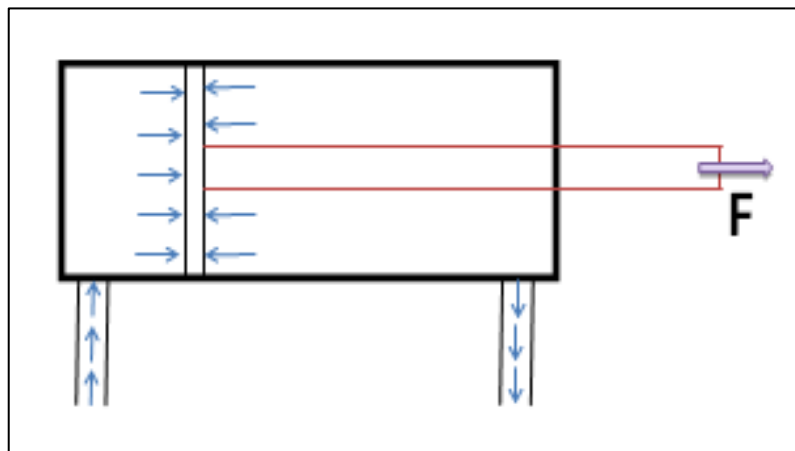
$$\text{Fuerza} = \text{Presión del aire} * \text{Superficie del émbolo}$$

La fuerza de empuje de retroceso que realiza hacia dentro el vástago corresponde con la fórmula.

$$\text{Fuerza} = \text{Presión del aire} * (\text{Superficie del émbolo} - \text{Superficie del vástago})$$

**3.5.2** *Fuerza disponible en el cilindro.* Para determinar las fuerzas del cilindro neumático se lo realiza mediante las siguientes ecuaciones y tablas de selección.

Figura 35. Cilindro neumático



Fuente: Autor

$$P = \frac{F}{A} \tag{3}$$

$$P * A = F$$

$$P * \frac{\pi d^2}{4} = F$$

Dónde:

P = Presión manométrica (bar)

F = Fuerza (N)

d = Diámetro de la camisa del cilindro (cm)

**3.5.2.1 Consumo de aire en el cilindro.** Partiendo del caudal se tiene que:

$$Q = A * V \quad (4)$$

$$Q = \frac{\pi d}{4} V$$

Tomando en cuenta:

Para un cilindro simple efecto

$$Q = S * \frac{D^2 \pi}{4} * n * R_c \quad (5)$$

Para un cilindro doble efecto

$$Q = \left[ S * \frac{D^2 \pi}{4} + S * \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} \right] * n * R_c \quad (6)$$

Dónde:

Q= Consumo de aire (Lts/min)

S= Carrera del cilindro (cm)

D= Diámetro del cilindro (cm)

d= Diámetro del vástago (cm)

n= Ciclos por minuto

**3.5.2.2 Relación de compresión.** la relación de compresión se determina por la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{101.3 \text{ KPa} + P}{101.3 \text{ KPa}} \quad (7)$$

Dónde:

$R_c$  = Relación de compresión

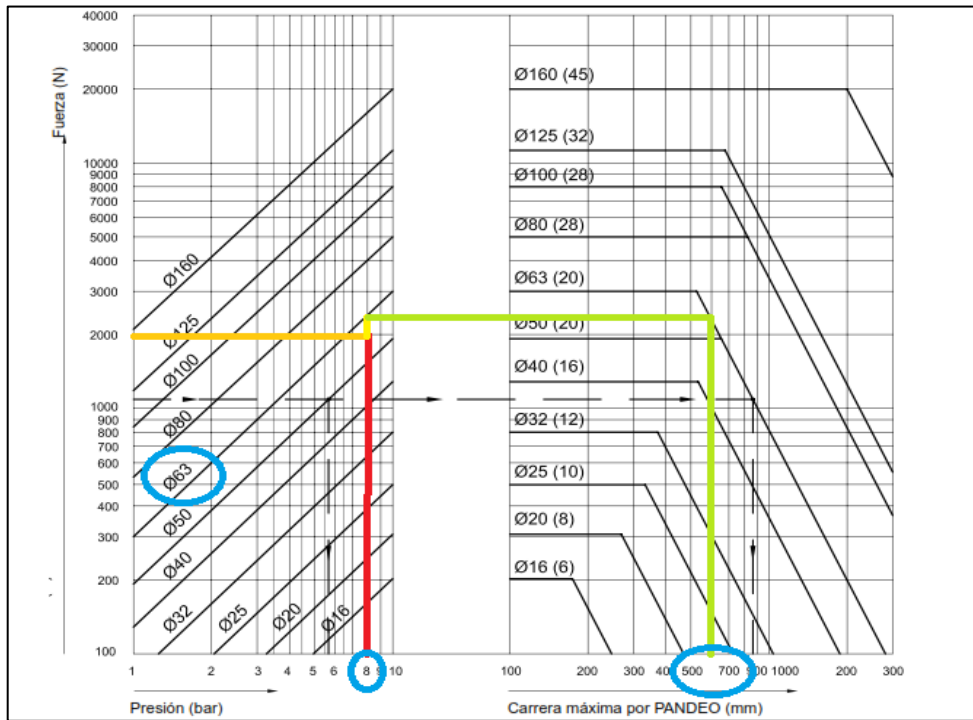
P = Presión de trabajo (KPa) = 8 bares = 800 KPa

$$R_c = \frac{101.3 \text{ KPa} + 800 \text{ KPa}}{101.3 \text{ KPa}}$$

$$\boxed{R_c = 8.89733}$$

Para la selección tanto del diámetro del cilindro así como la carrera máxima de pandeo se lo hace por medio de tablas las cuales son las siguientes:

Figura 36. Selección de diámetro y carrera de cilindro



Fuente: resource://pdf.js/web/images/texture.png

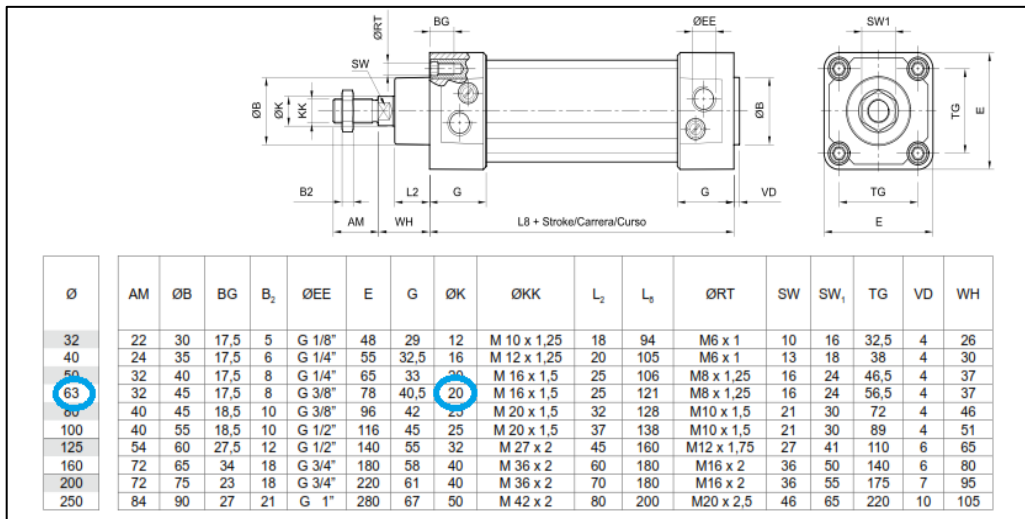
Para la selección del diámetro del vástago se lo hace mediante las siguientes tablas:

$Q = ?$

$S = 60 \text{ cm}$

$D = 6.3 \text{ cm}$

Figura 37. Selección del diámetro del vástago



Fuente: resource://pdf.js/web/images/texture.png

$d = 2 \text{ cm}$

$n = 2 \text{ min}^{-1}$



Con estos datos se calcula el consumo de aire para un cilindro de doble efecto.

$$Q = \left[ S * \frac{D^2 \pi}{4} + S * \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} \right] * n * R_c$$

$$Q = \left[ 60cm * \frac{6.2cm^2 \pi}{4} + 60cm * \frac{(6.2cm^2 - 2cm^2) \pi}{4} \right] * 2 \text{ min}^{-1} * 8.89733$$

$$Q = \left[ 60cm * \frac{38.44\pi cm^2}{4} + 60cm * \frac{(38.44 - 4)\pi cm^2}{4} \right] * 17.8 \text{ min}^{-1}$$

$$Q = [1811.44cm^3 + 1622.95cm^3] * 17.8 \text{ min}^{-1}$$

$$Q = [3434.39cm^3] * 17.8 \text{ min}^{-1}$$

$$Q = 61132.14cm^3 \text{ min}^{-1}$$

Debido a que el caudal para este cálculo se necesita en litros se debe transformar utilizando las tablas de conversiones.

Transformando los  $cm^3$  a litros se tiene:

$$Q = 61.13 \frac{Lts}{min}$$

Con los datos obtenidos de los diferentes cálculos realizados podemos determinar que el actuador que se necesita para este trabajo es un pistón con topes magnéticos de las siguientes dimensiones:

Cilindro ISO D63MM C660MM

Diámetro; D=6.3cm

Carrera de cilindro; S=66cm

Figura 38. Cilindro neumático con topes magnéticos



Fuente: Autor

**3.5.2.3 Sensor magnético CS1-E.** Los sensores de proximidad magnéticos son caracterizados por la posibilidad de distancias grandes de la conmutación, disponible de los sensores con dimensiones pequeñas.

Detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto.

Usando los conductores magnéticos (ej. hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre mayores distancias.

Los sensores magnéticos tienen varias características entre las cuales destacamos las siguientes:

- Los sensores de láminas magnéticos están disponibles en casi todos los cilindros del aire ofrecidos con los empujadores lineales.
- Los sensores de láminas son actuados por la gran proximidad de un imán que sea incluido dentro del cilindro como parte del montaje del pistón.

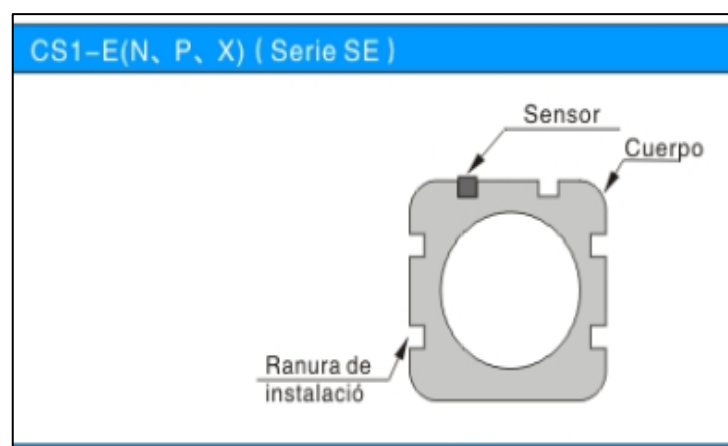
- Un sensor de láminas contiene una caña sellada normalmente abierta que se cierre o haga en presencia de un campo magnético.
- El interruptor de láminas vuelve al estado normalmente abierto una vez que se quita el campo magnético.
- Los sensores de láminas, con y sin los indicadores de posición LED, se utilizan en la gran mayoría de los usos, donde el pistón magnético se activa en cada extremo debido al movimiento del émbolo.

Figura 39. Sensor magnético CS1-E



Fuente: Autor

Figura 40. Instalación del sensor en el cilindro magnético



Fuente:[http://es.airtac.com/pro\\_det.aspx?c\\_kind=4&c\\_kind2=19&c\\_kind3=41&c\\_kind4=55&c\\_kind5=126&id=65](http://es.airtac.com/pro_det.aspx?c_kind=4&c_kind2=19&c_kind3=41&c_kind4=55&c_kind5=126&id=65)

**3.5.2.4 Selección del compresor.** Para encontrar el caudal que se tiene que en el sistema se suman todos los caudales parciales de cada cilindro.

Presión de trabajo = 8 bares

$$V_{ACUMULADO} = Q_{total} * tiempo \quad (8)$$

Sí el tiempo de encendido y apagado es 2 min es una imposición.

$$V_{ACUMULADO} = 61.13 \frac{\text{Litros}}{\text{min}} * 2\text{min} = 122.3 \text{ litros}$$

Sí la presión mínima a la que se debe encender el motor eléctrico de la bomba es 8 bar.

$$V_o = \frac{V_{ACUMULADO}}{\Delta p} \quad (9)$$

$$V_o = \frac{122.3 \text{ Litros}}{1.8} = 68 \text{ Litros}$$

$$P_{BOMBA} = P_{min} * Q \quad (10)$$

$$P = 8\text{bar} * \frac{1 \text{ Kgf/cm}^2}{1.019\text{bar}}$$

$$Q = 61132.14 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} * \frac{1\text{min}}{60\text{seg}}$$

$$P = 8.15 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$Q = 1018.9 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

$$P_{otencia} = 8.15 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} * 1018.9 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} = 8304.04 \frac{\text{Kgf cm}}{\text{seg}}$$

$$P_{otencia} = 8304.04 \frac{\text{Kgf cm}}{\text{seg}} * \frac{9.8\text{N}}{1\text{Kgf}} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} = 813.8 \frac{\text{Nm}}{\text{seg}}$$

$$P_{otencia} = 813.8 \text{ W} * \frac{1\text{Hp}}{746 \text{ W}}$$

$$P_{otencia} = 1.09\text{Hp}$$

Sí se toma una eficiencia de 0.8 se tiene:

$$P_{motor\ eléctrico} = \frac{1.09}{0.8}$$

$$P_{motor\ eléctrico} = 1.33 \text{ Hp}$$

Seleccionamos un compresor de 1 a 1.5 Hp, esto si se va a trabajar en fuera del laboratorio ya que ahí sería necesario la utilización de un compresor externo

### 3.6 Unidad de mantenimiento GFR200-08

Los dispositivos conectados en los diferentes puntos de un circuito neumático necesitan recibir aire con una presión uniforme y libre de impurezas. Además, muchos de estos dispositivos tienen elementos móviles que precisan ser lubricados.

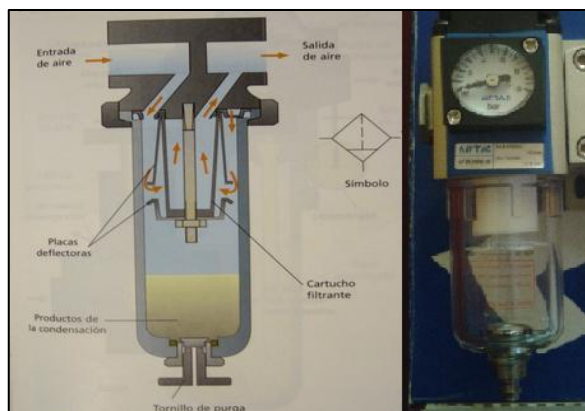
La preparación del aire comprimido que consumen los dispositivos neumáticos conectados en diferentes puntos se realiza mediante las llamadas unidades de mantenimiento. Estas unidades están formadas por tres elementos diferentes: el filtro, el regulador y el lubricador.

**3.6.1 Filtro.** Tiene como objetivo detener las impurezas que arrastra el aire comprimido (polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, etc.).

**3.6.1.1 Funcionamiento.** El aire penetra en el filtro por la parte superior izquierda. Una placa deflectora especialmente colocada le obliga a realizar un violento movimiento de rotación.

Las partículas más pesadas y las gotitas de vapor son impulsadas por la fuerza centrífuga contra las paredes del recipiente, donde se condensa el vapor de agua., que cae al fondo del recipiente junto con las impurezas. Éstas son evacuadas al exterior a través de una abertura de vaciado tapada por un tornillo (tornillo de purga) que se encuentra en el fondo del recipiente.

Figura 41. Filtro de la unidad de mantenimiento



Fuente: Autor

Después, el aire se filtra a través de un cartucho filtrante con material poroso, que, aunque permite el paso del aire, impiden que pasen las partículas que lleva en suspensión. Los cartuchos tienen que sustituirse cada cierto tiempo, ya que, si bien siguen filtrando incluso cuando están sucios, hay que tener en cuenta que la suciedad produce mayor resistencia al flujo del aire y, como consecuencia, se reduce la presión del aire de utilización

**3.6.2 Regulador.** El regulador de presión tiene como misión mantener el aire que utiliza el circuito neumático a una presión constante, independientemente de las variaciones de presión que se produzcan.

Figura 42. Regulador de la unidad de mantenimiento



Fuente Autor

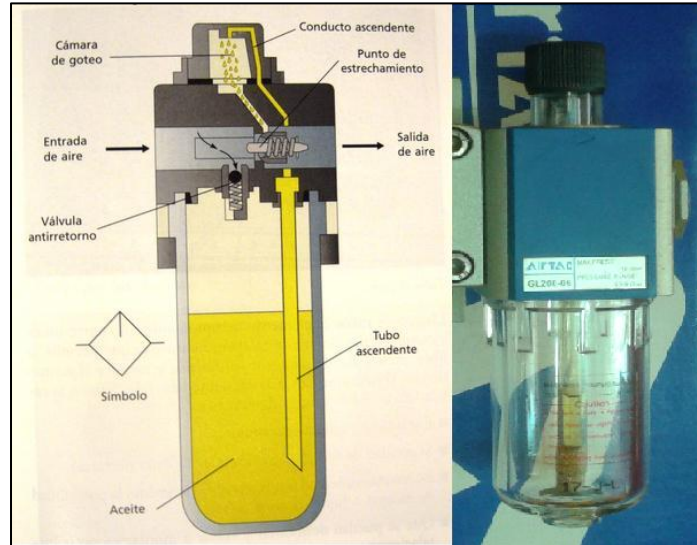
La entrada de aire se regula mediante un tornillo que desplaza un vástago apoyado en una membrana móvil, de manera que deja pasar una cantidad constante de aire comprimido hacia el punto de utilización.

Cuando en el punto de utilización se produce un aumento de presión, la membrana retrocede cerrándose la entrada de aire y abriéndose los escapes que hacen bajar la presión del aire de utilización, por lo que la membrana recupera su posición desplazando el vástago y volviendo a abrir la entrada del aire.

**3.6.3 Lubrificador.** Una vez filtrado, y regulada su presión, el aire comprimido pasa a través del lubricador mezclándose con una fina capa de aceite que arrastra en suspensión hasta las partes móviles de los dispositivos neumáticos. De esta manera son lubricados disminuyendo la fricción y evitando el desgaste.

**3.6.3.1 Funcionamiento.** Al pasar el aire por el estrechamiento que hay en el lubricador, aumenta la velocidad y disminuye la presión.

Figura 43. Lubricador de la unidad de mantenimiento



Fuente: Autor

La bajada de presión produce un efecto de succión, de manera que el aceite que permanece en el fondo del recipiente es aspirado por el extremo del tubo sumergido en él y sube a través de dicho tubo hasta la cámara superior (cámara de goteo).

En la cámara de goteo se forman gotas que se precipitan a través del fino conducto situado en su parte inferior hasta la zona donde se encuentra el estrechamiento por el que circula el aire comprimido; allí, la velocidad del aire lo pulveriza y lo convierte en una fina niebla de aceite que el aire arrastra en suspensión.

### 3.7 Válvulas solenoides (electroválvulas)

Las válvulas solenoides pueden ser de accionamiento directo, servoaccionadas o con movimiento vertical asistido, disponemos de una importante variedad de estas válvulas, en distintas tensiones, corrientes, vías, posiciones y con diferentes medidas de entrada y salida del aire comprimido el cual se utiliza para el accionamiento de estas electroválvulas.

Las variantes más comunes son: Válvulas 2/2 (dos vías, dos posiciones), estas se utilizan como válvulas de paso, alimentan al sistema pero no pueden generar la descarga del mismo.

Válvulas 3/2 (tres vías, dos posiciones), posibilitan tanto la carga como la descarga del sistema.

Válvulas 4/2 (cuatro vías, dos posiciones), generalmente se usaban para cilindros de doble efecto pero con un solo escape, en la actualidad se usan las 5/2.

Válvulas 5/2 (cinco vías, dos posiciones) se utilizan para los cilindros de doble efecto con la ventaja de que permiten regular la velocidad de avance y retroceso en forma independiente por medio de la descarga ya que cada utilización tiene su escape.

Válvula 5/3 (cinco vías, tres posiciones) hay dos variantes centro cerrado, para detener el cilindro en una posición intermedia de su carrera y dejarlo bloqueado ya que quedará el aire en ambas cámaras, o centro abierto, esta variante en su posición central descarga ambas cámaras del cilindro a la atmosfera, posibilitando mover el vástago con una fuerza externa tal que venza el rozamiento de las guarniciones.

Figura 44. Válvula solenoide 4V230C-08 (5/3)



Fuente Autor

### 3.8 Controles de flujo-directos

Sirven para controlar el flujo del aire comprimido de la presión de trabajo que puede oscilar entre 0 a 10.3bar ó 0 a 150psi y cuya presión de vacío es de -750mm Hg (10Torr) con una temperatura máxima de trabajo de 60°C (140°F).

Estos controles de flujo tienen las siguientes características:

- Permiten controlar una velocidad constante del cilindro fácilmente
- Con un sistema de bloqueo para evitar manipulaciones no deseadas



- Fácil instalación al fijarlos directamente en las conexiones del cilindro
- Regulación de la velocidad en un solo sentido

Figura 45. Control de flujo-directo



Fuente: Autor

### 3.9 Transmisor de presión PBT

El transmisor de presión PBT está diseñado para la medición de la presión en medios líquidos y gaseosos. El PBT es adecuado para aplicaciones industriales, tales como máquinas y plantas de ingeniería, en los sistemas de máquinas-herramienta.

El PBT tiene una membrana de acero inoxidable soldada circularmente. Por lo tanto, es muy adecuado para una gran variedad de medios corrosivos.

Los rangos de medición para presión relativa se encuentran en 0-1bar hasta 0-600bar. Además, el PBT ofrece rangos absolutos y compuestos.

El PBT está disponible en dos clases de precisión con no linealidades de  $\leq \pm 0,5\%$  y  $\leq \pm 0,25\%$  del span (BFSL, de acuerdo con la norma IEC 61298-2), respectivamente.

Una gran variedad de conectores de proceso habituales está disponible de serie. Como una opción, el PBT está disponible con un rango de temperatura extendida medio hasta 100 ° C.

El transmisor de presión se caracteriza por su instalación sencilla y rápida. El dispositivo tiene un diseño compacto y se puede utilizar en el espacio de instalación limitado.

El PBT es libre de desgaste y no requiere mantenimiento. El PBT ofrece las señales estándar de la industria de salida 4-20mA, 0-5 V ó 0-10V. Para la conexión eléctrica, conectores M12x1, L-conectores según DIN 175301803A y salidas de cable están disponibles.

Figura 46. Transmisor de presión PBT



Fuente: Autor

## Beneficios

- Excelente relación calidad-precio
- Sin partes móviles mecánicas: No desgaste, a prueba de fatiga
- Libre de mantenimiento
- Insensible a los medios corrosivos a través herméticamente sellado membrana de acero inoxidable
- Instalación rápida y sencilla

### 3.10 Racores plásticos

Son aquellos que permiten fácilmente el paso del aire comprimido y trabajan a una presión máxima de 10.3bares con una temperatura de 60°C (140°F).

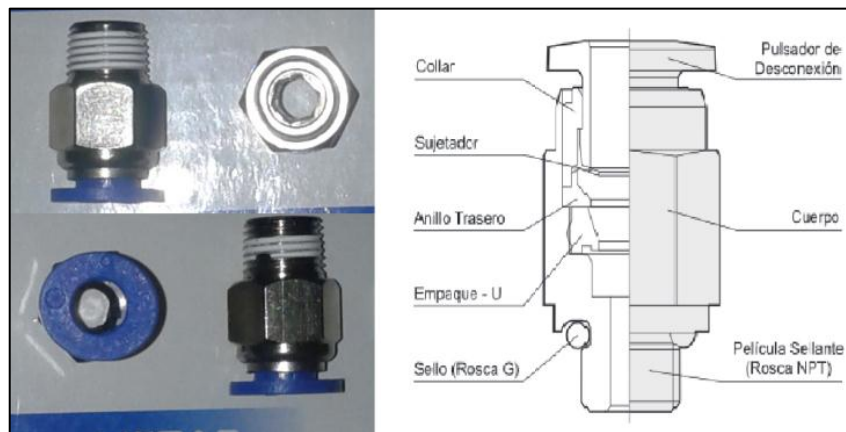
Los racores tienen las siguientes características:

- Permiten un montaje rápido y sencillo de los circuitos neumáticos
- Excelente sujeción de las mangueras

- Racores rectos con hexágono interno que permite el montaje en espacios reducidos
- Satisfacen las características de anti-contaminación

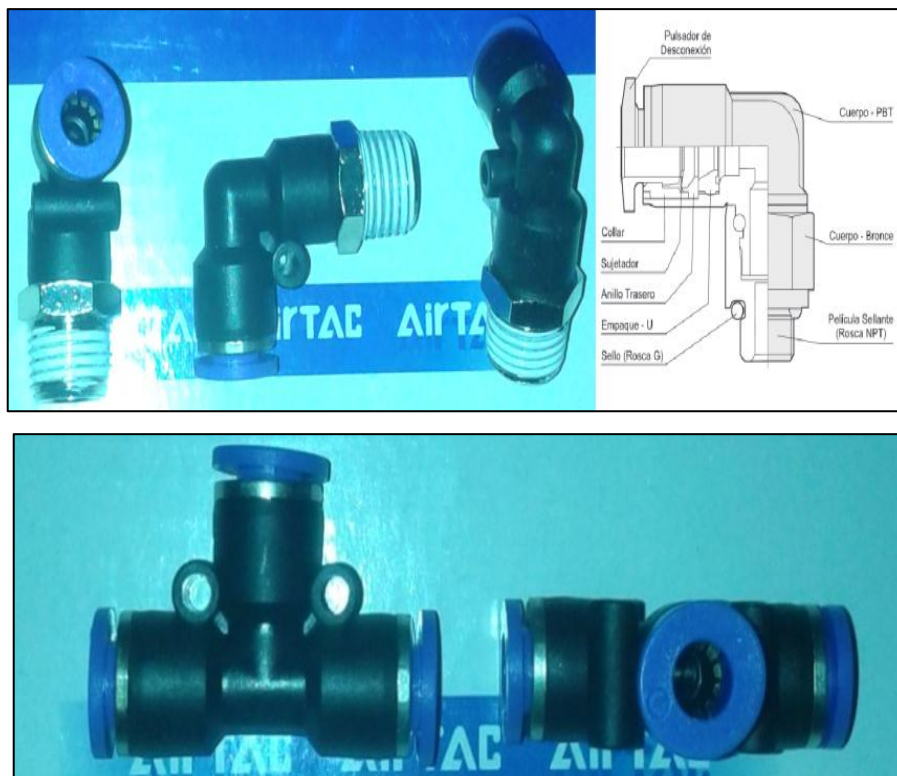
**3.10.1 Tipos de racores.** Existen una gran variedad de racores entre los cuales detallamos los utilizados en nuestro proyecto.

Figura 47. Racor recto 1/8" x 6mm



Fuente: Autor

Figura 48. Racor codo giratorio 1/4" \* 6mm y unión tee 6mm



Fuete: Autor

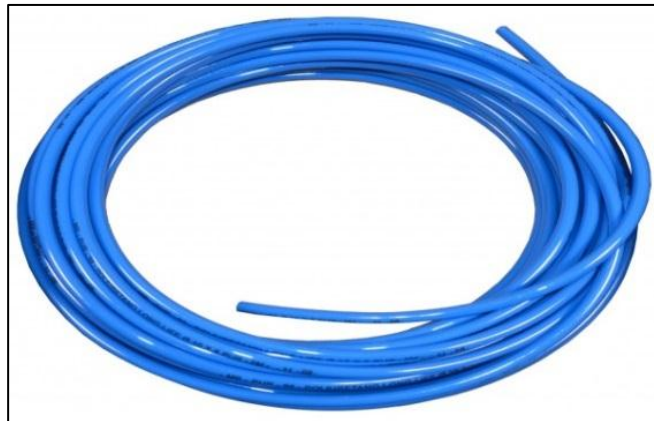
### 3.11 Manguera de poliuretano

En estas instalaciones se usan tubos plásticos, mangueras reforzadas con malla de nylon, mangueras de goma y tela y caño de cobre. El más usado en dichas instalaciones es:

**3.11.1 Tubo de Poliuretano.** El mismo es utilizado en aplicaciones generales dado que admite pequeños radios de curvatura y es resistente a la luz, la humedad y el desgarre.

Soporta vibraciones y azul es el color más usual, pero también existen de otros colores y aplicaciones.

Figura 49. Manguera de poliuretano



Fuente: Autor

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO ELECTRÓNICO Y PROGRAMACIÓN

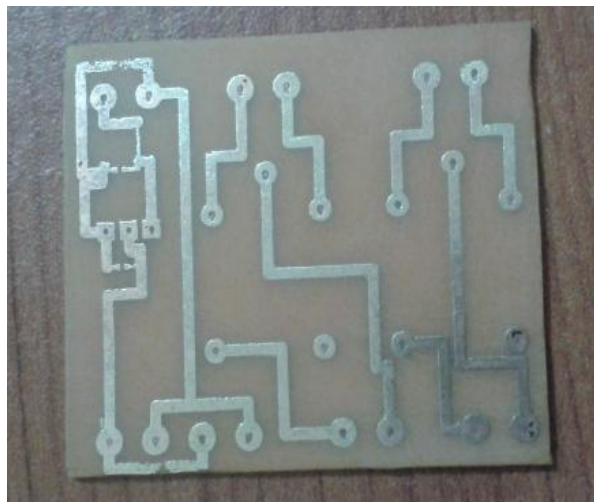
#### 4.1 Esquema eléctrico del circuito

Este circuito eléctrico está dividido en dos zonas, la primer zona consta en de un transformador de corriente el cual tiene una entrada de 110V y una salida de 5V para energizar los sensores magnéticos y la segunda zona está dotada de dos relés los cuales controlan una válvula solenoide independientemente.

**4.1.1** *Diseño de la placa.* Para el diseño de esta placa se hizo varios prototipos entre los cuales se fueron desarrollando mejoras dependiendo de las necesidades. El circuito se ha diseñado dependiendo su necesidad la cual se la desarrollo mediante el programa Proteus y se pode determinar la siguiente placa.

**4.1.1.1** *Diseño inicial.* Es un diseño inicial de pruebas el cual contiene un regulador de voltaje a 5V/DC para el uso de sensores tipo REED y relés para el control de solenoides.

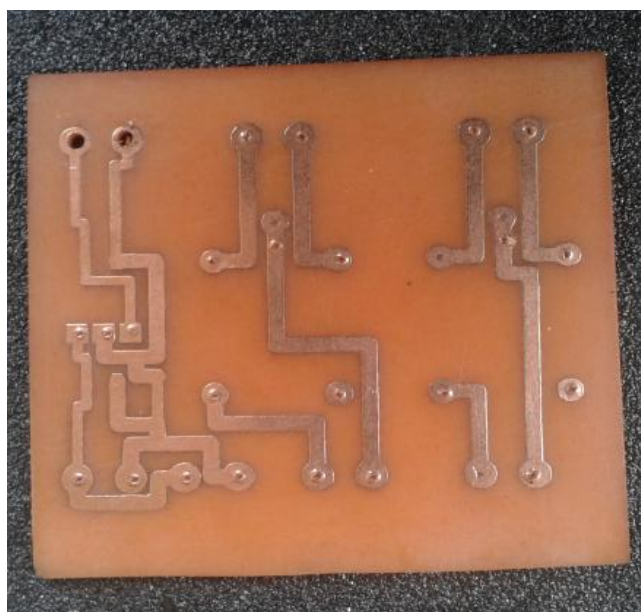
Figura 50. Diseño inicial de placa



Fuente: Autor

**4.1.1.2** *Segundo diseño.* Modificación del circuito impreso, debido a fallas de regulación de voltaje por la concepción del integrado 7805

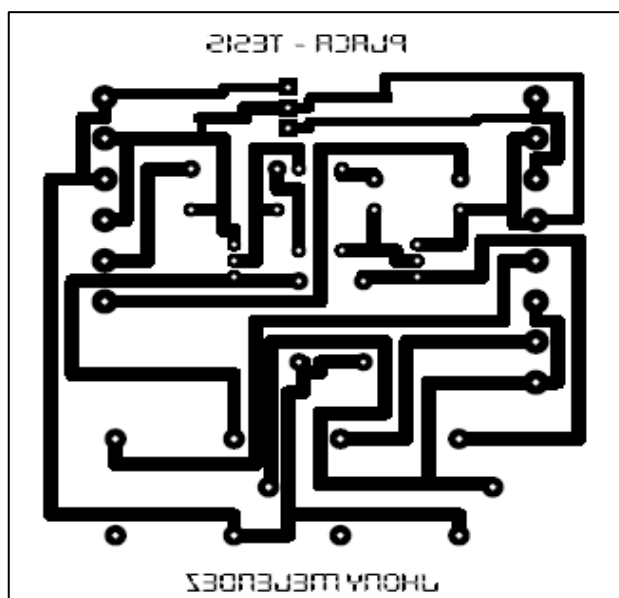
Figura 51. Segundo diseño de placa



Fuente: Autor

**4.1.1.3 Tercer diseño.** Debido a que el voltaje de salida de la tarjeta NI 6009 no sobrepasa los 5V/DC se procedió a diseñar otra placa con una etapa de activación de relés mediante transistores 2N3004 utilizándolos en su zona de corte.

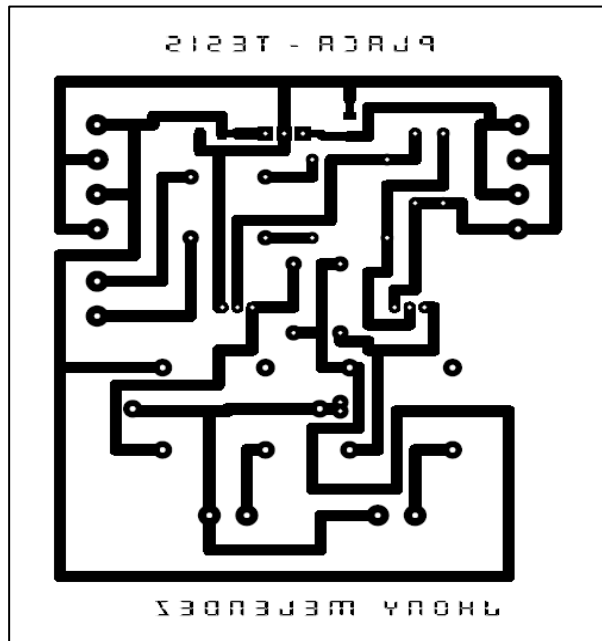
Figura 52. Tercer diseño de placa



Fuente: Autor

**4.1.1.4 Diseño finalizado.** Mejoramiento del diseño debido a la cercanía de las pistas de activación del contacto de los relés en la señal de 110V/DC.

Figura 53. Diseño de placa



Fuente: Autor

**4.1.2 Impresión del circuito en la placa.** Después del diseño del circuito se procede a imprimir a láser en un papel especial para este caso utilizamos papel fotográfico, ya impreso colocamos sobre la placa de baquelita y procedemos a plancharla con un tiempo estimado de 5 a 8 minutos.

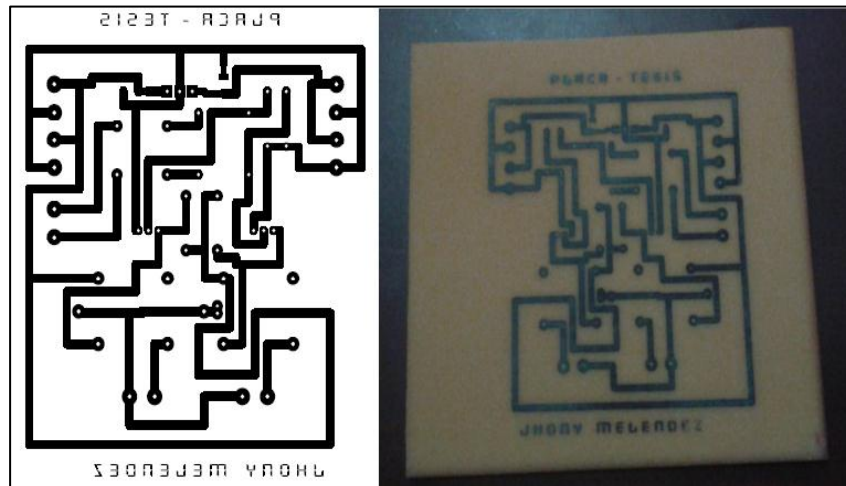
Al terminar de planchar colocamos la baquelita en agua caliente para así despegar el papel fotográfico y solo quede impregnadas las líneas de la impresión láser sobre la baquelita.

Para continuar este proceso en agua caliente y en un frasco de plástico colocamos agua caliente y sobre ella el ácido de percloruro, en esta solución sumergimos la placa y procedemos a mover la placa dentro del agua para así esta vaya formando las pistas del circuito que hemos impreso, al cabo de unos 20 minutos de este proceso podemos divisar las pistas que se han formado.

Para finalizar y divisar bien las pistas se las procede a limpiar con un lustre y por medio de un multímetro se comprueba si estas no tienen ningún tipo de imperfectos.

Después de haber verificado que las pistas estén bien limpias procede a realizar una inspección visual del circuito impreso y el diseño realizado para evitar que alguna pista este desgastada o se encuentre constada por el proceso de impresión.

Figura 54. Circuito impreso en baquelita



Fuente: Autor

**4.1.3** *Perforación de la placa.* Para la perforación de la placa se procede a señalar las partes donde se va a perforar para así no tener movimientos del taladro al momento de trabajar

Esta perforación la vamos a realizar con una broca especialmente para estos casos ya que las dimensiones de estos orificios son muy pequeñas, por este motivo lo realizamos con sumo cuidado.

Figura 55. Perforación de la placa

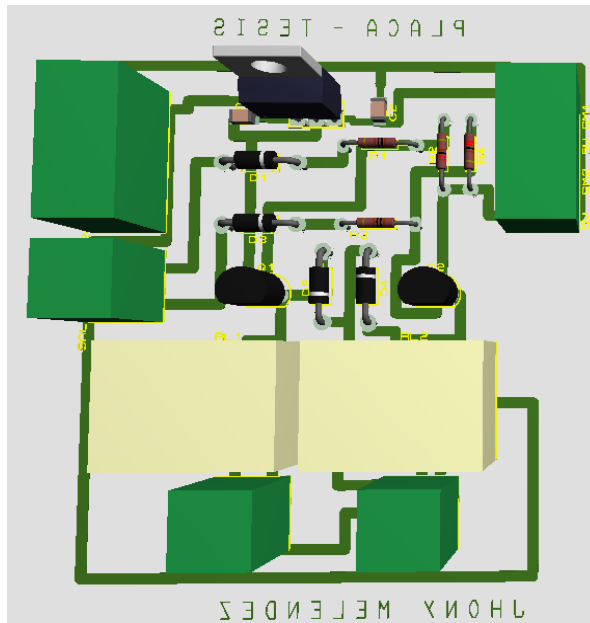


Fuente Autor

**4.1.4** *Colocación y soldada de los implementos.* Después de haber terminado la perforación de cada uno de los huecos de las pistas se procede a colocar los terminales, relés, transistor y capacitores para verificar que coincidan todos en sus respectivos lugares.



Figura 56. Verificación de implementos en la placa



Fuente: Autor

Después se procede a soldar cada uno de los implementos en la placa, para ello utilizamos estaño y un caudín el cual lo calentamos hasta que éste adquiera la temperatura deseada para soldar.

Figura 57. Soldando las diversas piezas en la placa



Fuente: Autor

Este tipo de soldadura se hace con mucho cuidado ya que los espacios son muy reducidos y estos no tienen que intersectarse para que no tengan cortocircuitos.

## 4.2 Descripción del software (LabVIEW)

**4.2.1** *Introducción.* LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC, sin embargo es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.

Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad.

El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2003)

**4.2.2** *Aplicaciones de LabVIEW.* Tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, Laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial. LabVIEW es muy utilizado en procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total Distorsion Harmonic TDH), procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

**4.2.3 Programación gráfica o Instrumentos visuales.** Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real.

Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los Vis tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs

Todos los Vis tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs

**4.3 Tarjeta DAQ NI USB-6009.** La tarjeta de adquisición de datos (DAQ) de National Instruments (NI) USB-6009, consta de 8 entradas analógicas de una sola terminal (AI) (14 bits, 48 kS/s), de 2 salidas analógicas (AO) (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales (DIO), un contador de 32 bits con una interfaz USB de alta velocidad.

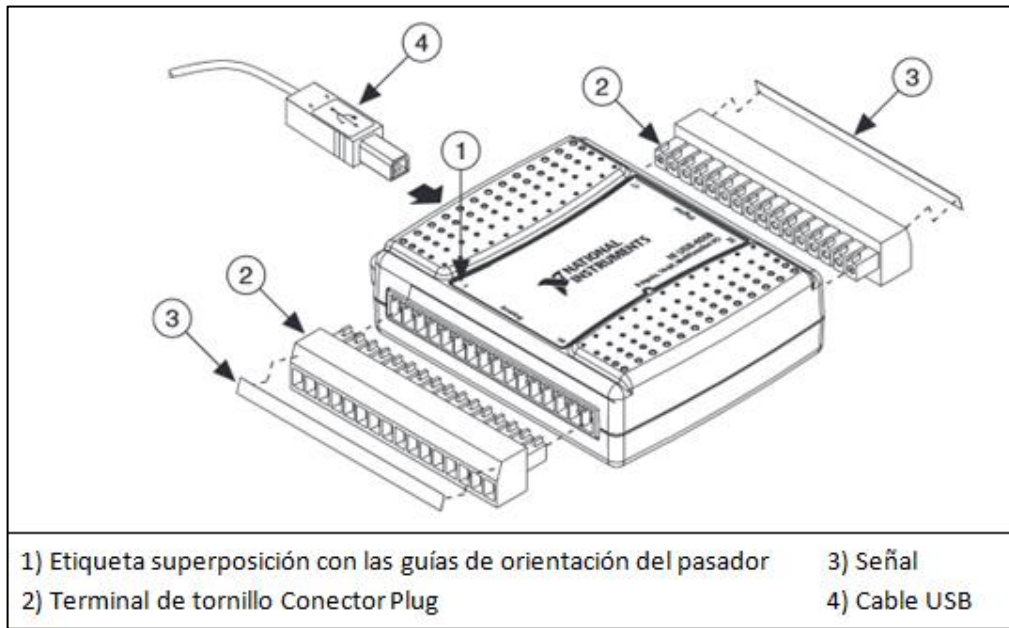
La USB-6009 de National Instruments brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

Figura 58. Tarjeta DAQ USB 6009



Fuente: Autor

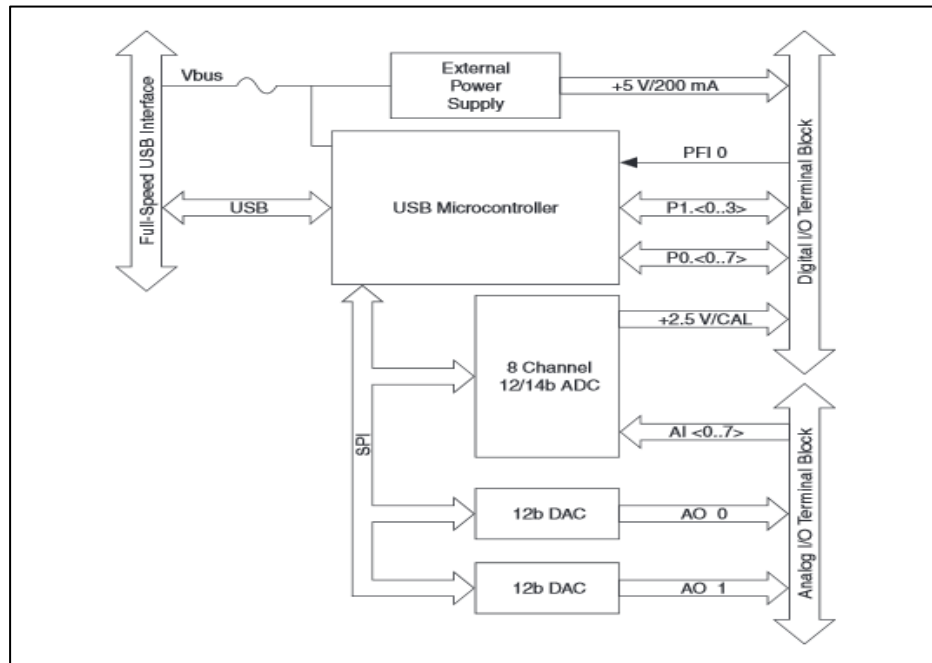
Figura 59. Instalación correcta de la DAQ



Fuente: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>

Esta tarjeta de adquisición consta del siguiente diagrama:

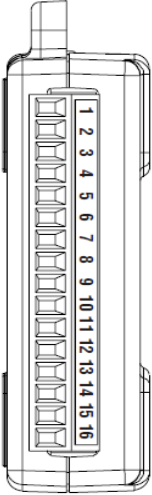
Figura 60. Diagrama de bloques de Tarjeta DAQ USB 6009



Fuente: <resource://pdf.js/web/images/texture.png>

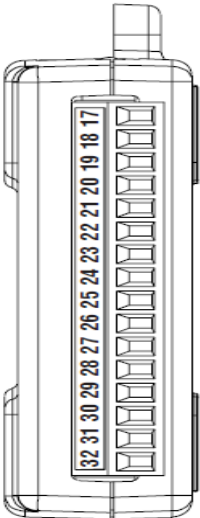
En la siguiente tabla damos a conocer los diferentes terminales analógicos y digitales con sus respectivas numeraciones.

Figura 61. Asignación de terminales analógicos

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Fuente: [http://digital.ni.com/public.nsf/websearch/95CC0CB11D7DF3D18625712E000C4ABD/\\$FILE/1-16.GIF](http://digital.ni.com/public.nsf/websearch/95CC0CB11D7DF3D18625712E000C4ABD/$FILE/1-16.GIF)

Figura 62. Asignación de terminales digitales

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

Fuente: [http://digital.ni.com/public.nsf/websearch/95CC0CB11D7DF3D18625712E000C4ABD/\\$FILE/17-32.GIF](http://digital.ni.com/public.nsf/websearch/95CC0CB11D7DF3D18625712E000C4ABD/$FILE/17-32.GIF)

**4.3.1 Especificaciones técnicas.** En la siguiente tabla podemos apreciar las entradas analógicas con sus respectivos valores.

Tabla 4. Especificaciones de entradas analógicas

<b>TIPOS DE CONVERTIDOR</b>	<b>APROXIMACIÓN SUCESIVA</b>
Números de entradas analógicas	Unipolar: 8                  Diferencial: 4
Resolución de las entradas	Unipolar: 13 bits.      Diferencial: 14 bits.
Tasa de muestreo máximo	Canal simple: 48 Kilo muestras/segundo Canal múltiple: 42 Kilo muestras/segundo
Rangos de voltaje de entrada	Unipolar: $\pm 10$ V. Diferencial: $\pm(20, 10, 5, 4, 2.5, 2, 1.25, 1)$ V
Voltaje de trabajo	$\pm 10$ V
Impedancia de entrada	144K $\Omega$
Sobrevoltaje de protección	$\pm 35$ V
Nivel de ruido	Unipolar: 0.73 mVrms Diferencial: 0.37 mVrms

Fuente: Autor

En la siguiente tabla podemos determinar las salidas analógicas con todas sus variantes.

Tabla 5. Especificaciones de salidas analógicas

<b>TIPOS DE CONVERTIDOR</b>	<b>APROX. SUCESIVA</b>
Salidas analógicas	2
Resolución de salida	12 bits
La velocidad máxima de actualización de la tarjeta	150 Hz
Rango de salida	0 a +5V
Impedancia de salida	50 $\Omega$
Salida de la unidad actual	5 mA
Estado de encendido	0 V
Corriente de cortocircuito	50 mA
Precisión absoluta (sin carga en la tarjeta)	Típica: 7 mV Máxima: 36.4 mV

Fuente: Autor

En la siguiente tabla podemos determinar las entradas y salidas digitales con todas sus variantes.

Tabla 6. Especificaciones de entradas y salidas digitales

Entradas / Salidas Digitales	P0.<0..7>: 8 líneas PI.<0..3>: 4 líneas
Control de dirección	Cada canal puede programar individualmente como entrada o salida
Tipo de controlador de salida	Cada canal puede programar de forma individual como unidad activa (push-pull) o colector abierto (open-drain)
Compatibilidad	TTL, LVTTTL, CMOS
Resistencia pull-up	4.7 KΩ a 5 V
Rango de tensión máxima absoluta	-0.5 a 5.8 V con respecto a GND

Fuente: Autor

En la siguiente tabla podemos apreciar los niveles lógicos digitales, tanto de entrada como de salida.

Tabla 7. Especificaciones de los niveles lógicos digitales

NIVEL	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDADES
De entrada de bajo voltaje	-0.3	0.8	V
De entrada de alta tensión	2.0	5.8	V
Corriente de fuga de entrada	—	50	μA
Salida de baja tensión (I = 8,5 mA)	—	0.8	V
Salida de alta tensión	—	0.8	V
Unidad activa (push-pull), I = 8.5 mA-	—	—	V
Colector abierto (open-drain), I = -0.6mA, nominal	2.0	3.5	V
	2.0	5.0	V
Colector abierto (open-drain), I = 8.5 mA-, con resistencia de pull-up externa	2.0	—	V

Fuente: Autor

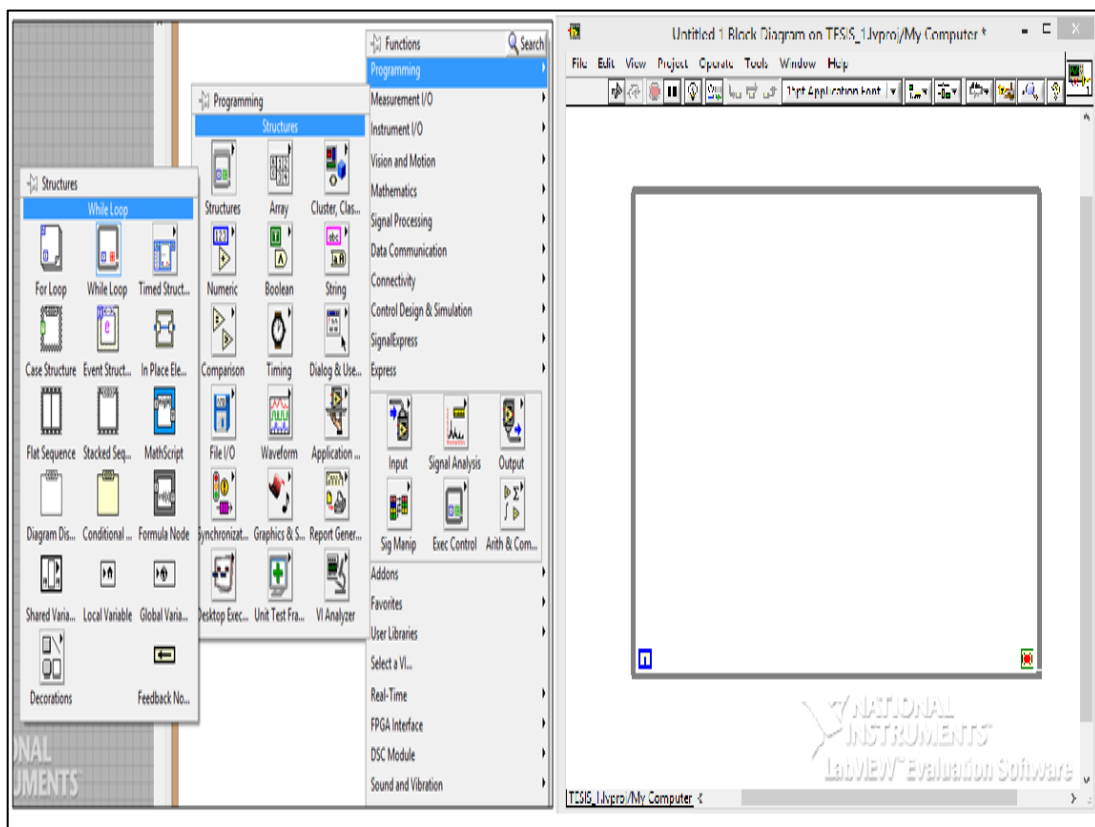
## 4.4 Programación gráfica con LabVIEW

**4.4.1 While Loop.** En el software de LabVIEW se tiene dos ventanas, la del panel frontal y la del bloque de programación, este programa se va a ejecutar en el bloque de diagramas.

Para hacer esto se necesita que esta programación se esté ejecutando repetitivamente hasta que el usuario necesite dar por terminado o finalizar el programa, para ello se necesita una estructura de repetición o WHILE LOOP.

Después se dibuja en el bloque de programación según la necesidad de la programación.

Figura 63. Selección del While Loop

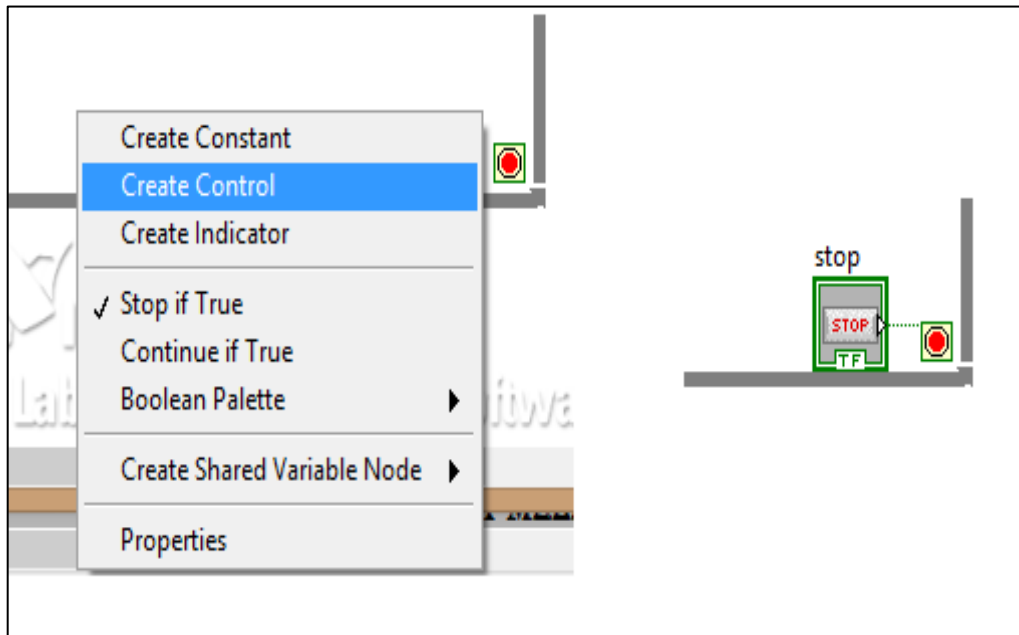


Fuente: Autor

Este WHILE LOOP contiene un botón rojo donde se puede activar un control que permite terminar la ejecución del programa.



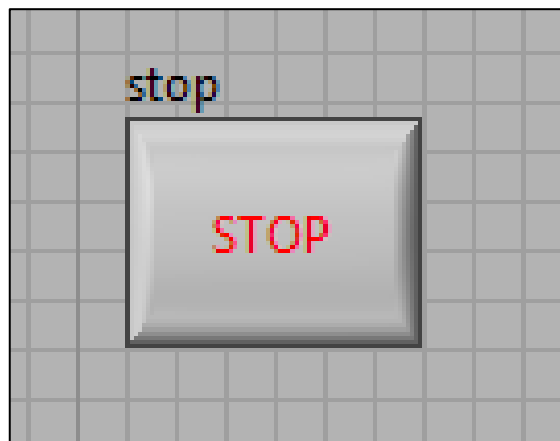
Figura 64. Crear control del While Loop



Fuente: Autor

Al crear este control en el panel frontal se creó un botón el cual se lo puede accionar cuando el programa se esté ejecutando para detenerlo.

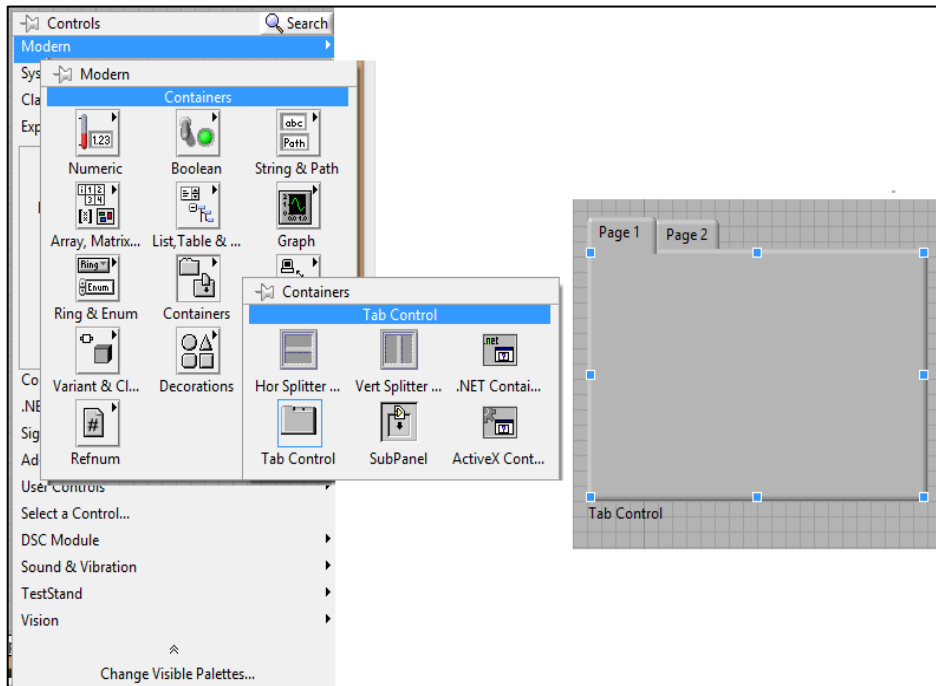
Figura 65. Botón de finalización de lazo



Fuente: Autor

**4.4.2 Tab Control.** Para agregar una ventana con varias pestañas se lo realiza en el panel frontal, en esta ventana se puede insertar según la necesidad deseada ya que por defecto vienen dos pestañas pero se puede agregar dependiendo de la necesidad de la presentación de la programación.

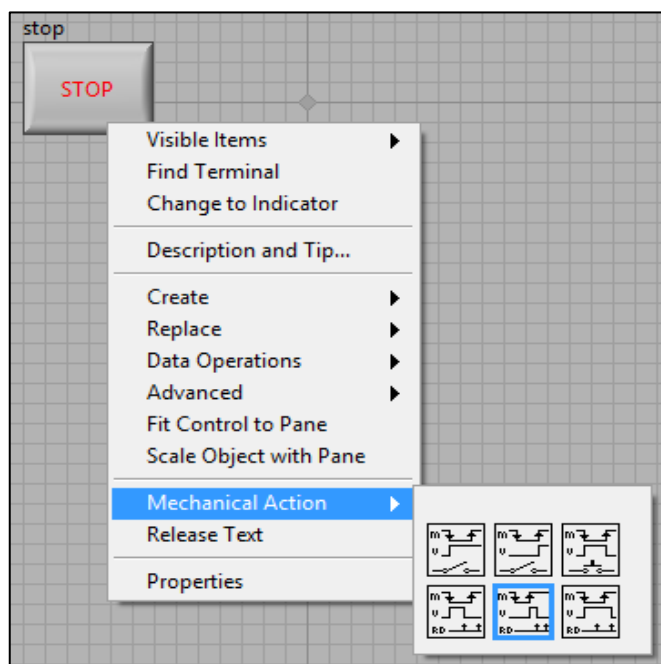
Figura 66. Ventana multipestañas o tab control



Fuente: Autor

Todos los controles bulianos del entorno de LabVIEW pueden tener varias acciones mecánicas en las cuales se asigna las que sean convenientes para esta programación, en este caso se necesita que al accionar un botón este mecánicamente vuelva a desactivar automáticamente mediante un intervalo de tiempo.

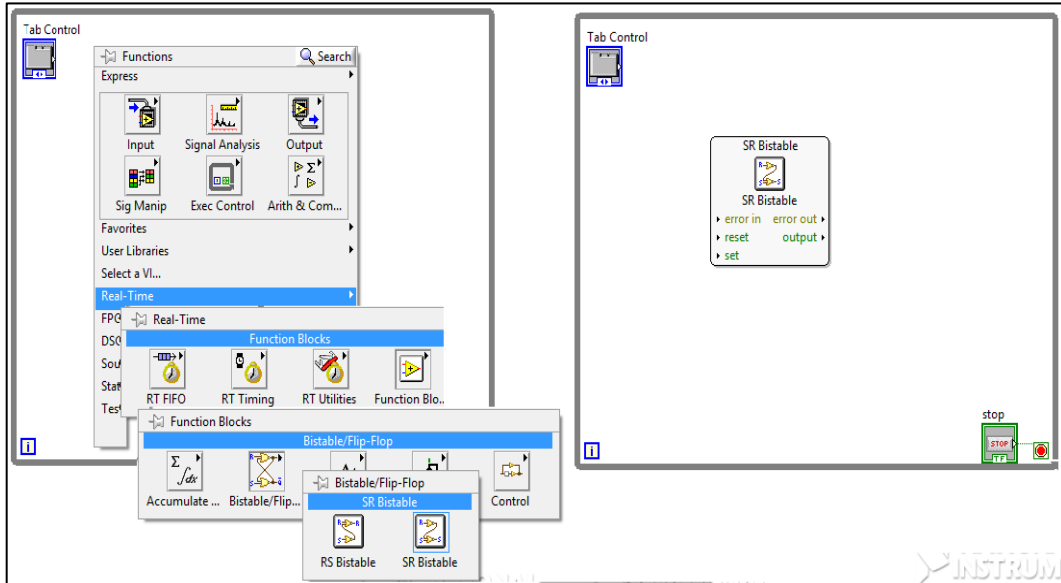
Figura 67. Acciones mecánicas de controles



Fuente: Autor

**4.4.3 SR Bistable.** Para crear una función de Flip-Flop, se la puede insertar en el bloque de diagramas y según la necesidad puede ser RS BISTABLE o SR BISTABLE.

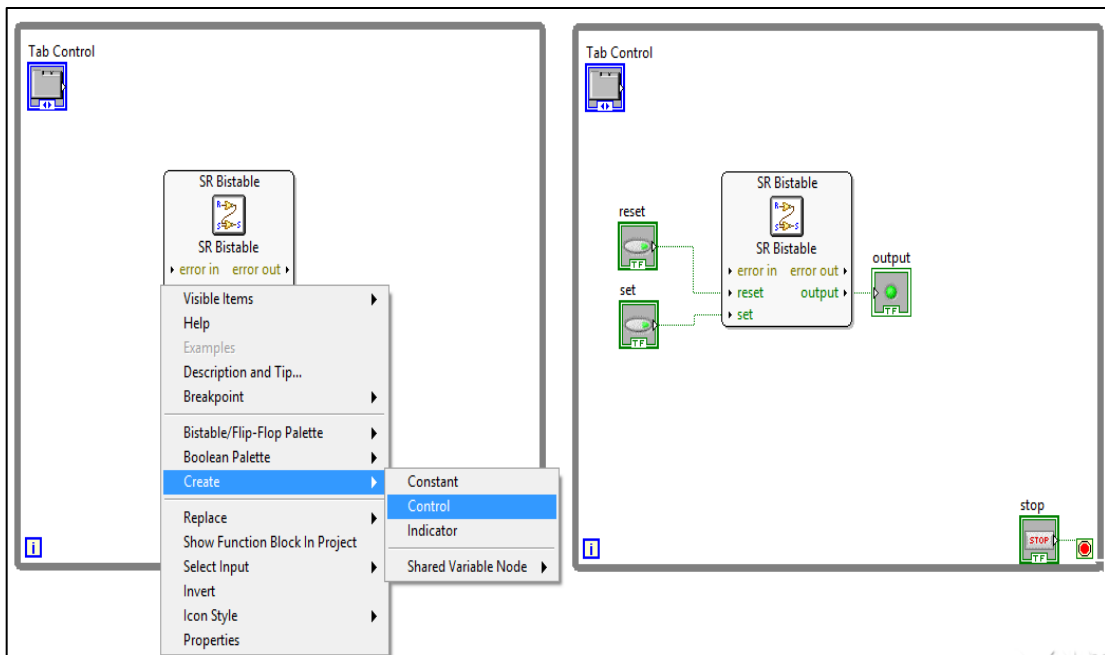
Figura 68. Diagrama de bloques SR BISTABLE



Fuente: Autor

Después de insertar el RS BISTABLE se procede a crear los pulsadores del SET y RESET y una salida OUTPUT.

Figura 69. Pulsadores del SET y RESET

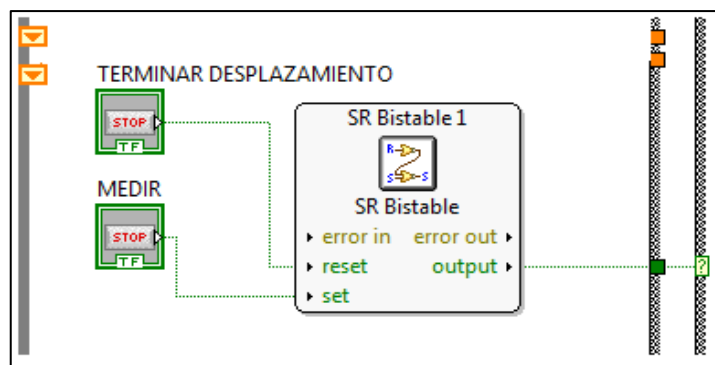


Fuente: Autor

Al tener dos entradas de pulsador como en este caso el de MEDIR y DETERMINAR desplazamiento, lo óptimo para mantener un estado es un bloque de Flip-Flop de SET y RESET.

Este sirve para realizar una acción en este caso seteamos pulsador de MEDIR y se tiene un valor de verdadero a la salida hasta que se accionemos el pulsador de DETERMINAR DESPLAZAMIENTO el cual va a desactivar la salida, la cual se puede ejecutar varias acciones.

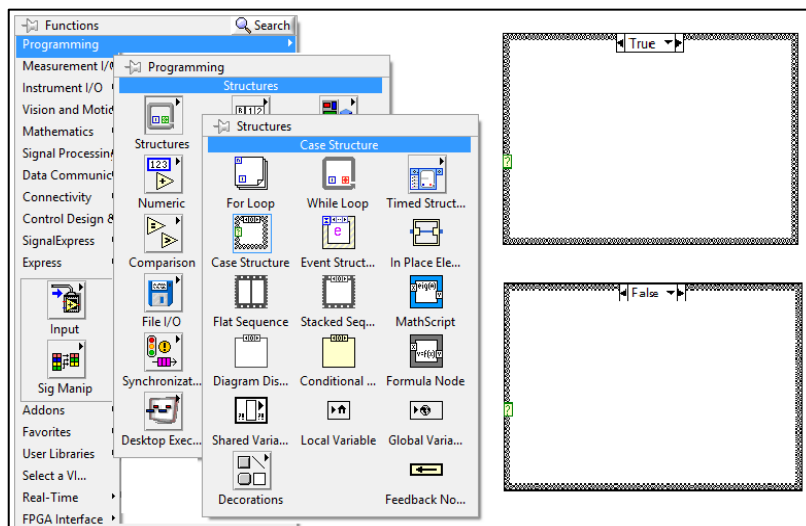
Figura 70. Seteado de los pulsadores



Fuente: Autor

**4.4.4 Case structure.** Entre varias estructuras que se destacan en el programa tenemos la case structure la cual permite realizar un proceso dependiendo la entrada booleana si es verdadera o falsa esto depende si el proceso es verdadero o falso. La cual es controlada por una variable posteriormente definida.

Figura 71. Case Structure

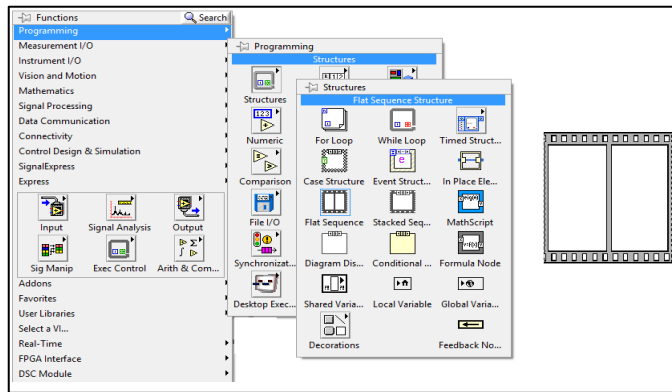


Fuente: Autor

Esta CASE STRUCTURE va ir conectada a la salida de la SR BISTABLE ya que se va a controlar mediante un proceso verdadero el recorrido del pistón mediante un intervalo de tiempo estimado y un proceso falso vamos a desactivar las válvulas solenoides de este proyecto.

**4.4.5 Flat sequence.** Esta estructura es similar a la proyección de una película, es decir todo se desarrolla en secuencia dependiendo cuantos FLAT SEQUENCE se haya utilizado, estos se puede agregar dependiendo de la necesidad de la programación.

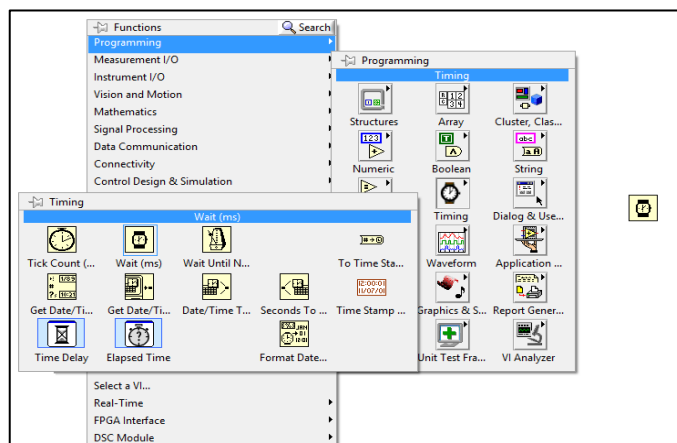
Figura 72. Icono del Flat Sequence



Fuente: Autor

**4.4.6 Wait.** En la programación este FLAT SEQUENCE va a estar ejecutándose a la velocidad del procesador del computador pero estos datos no son visibles para el operador del proceso. por lo que se necesita hacer una pausa cada vez que se repita este proceso y esto se lo hace mediante intervalos de tiempo en milisegundos.

Figura 73. Icono del Wait

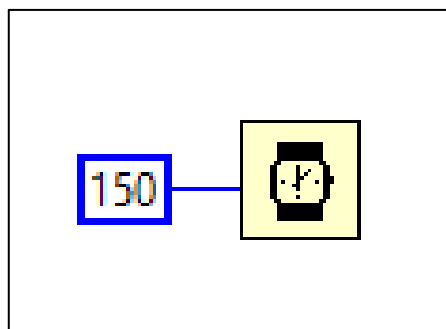


Fuente: Autor

Este WAIT viene dado en forma de reloj para ello se le agrega una constante en la cual se va a definir el intervalo de tiempo que se va a necesitar para este proceso vaya a estar repitiéndose. Para este caso si se desea una repetición cada un segundo se pone el valor de 1000 ya que este WAIT viene para controlar en milisegundos.

En este caso se ha utilizado un intervalo de tiempo de 150 milisegundos para mediante este determinar en qué posición se encuentra el vástago del pistón neumático de este proyecto.

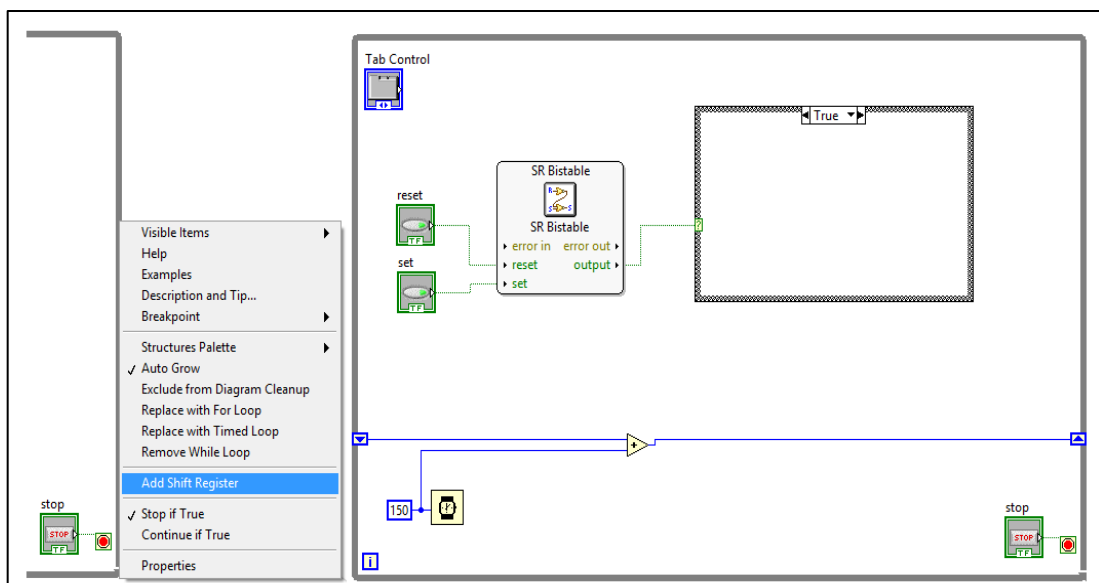
Figura 74. Wait y su constante



Fuente: Autor

**4.4.7 Shift register.** Para agregar un SHIFT REGISTER se lo hace mediante el WHILE LOOP ya anteriormente agregado y así se puede ir sumando los intervalos de tiempos transcurridos por el WAIT mediante una operación matemática de suma.

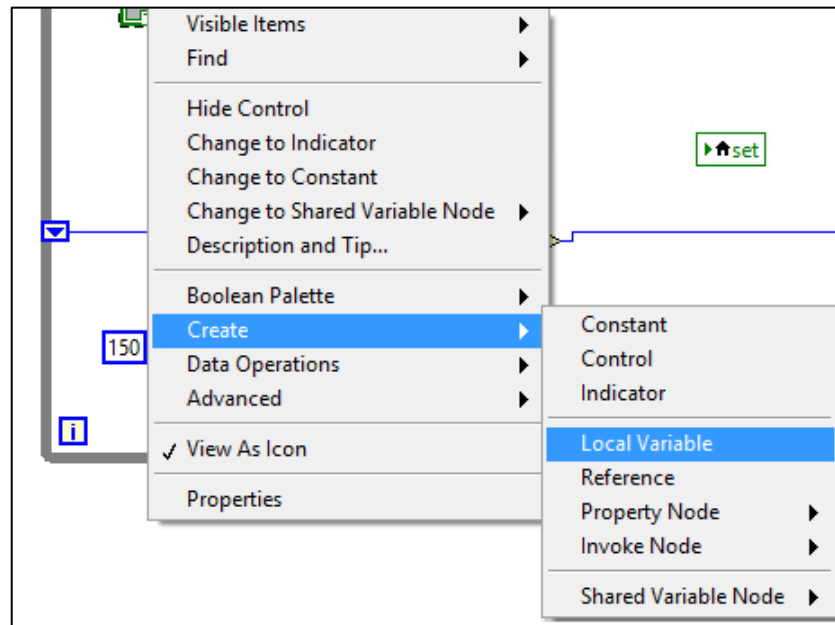
Figura 75. Agregada de un Shift Register



Fuente: Autor

**4.4.8 Local variable.** Esta local variable se la puede agregar mediante los pulsadores, en este caso se lo hace mediante el pulsador MEDIR pero esta variable viene dada como un indicador esta la debemos cambiar para que sea un control mediante la propia variable

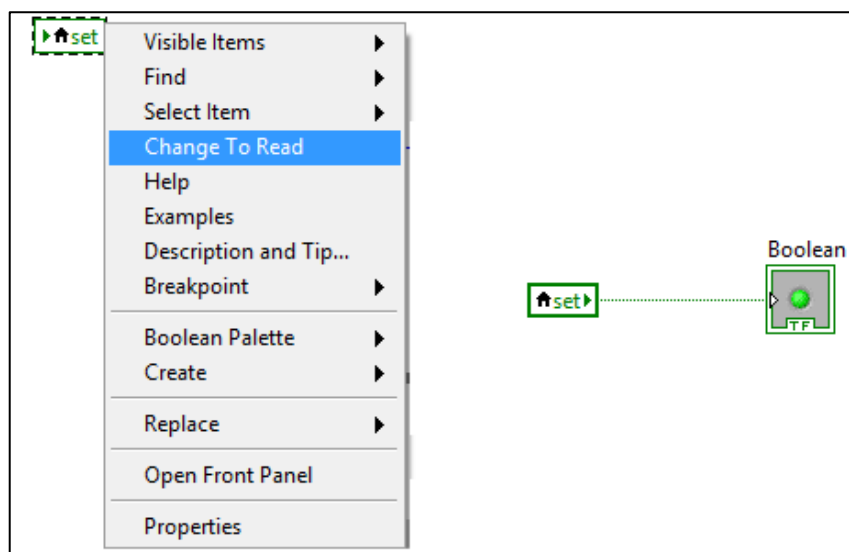
Figura 76. Creación de una Local Variable



Fuente: Autor

Esta variable local la vamos a convertir en un controlador la cual se va a utilizar para poder determinar si un LED se prende o se apaga.

Figura 77. Transformación de Local Variable en un controlador

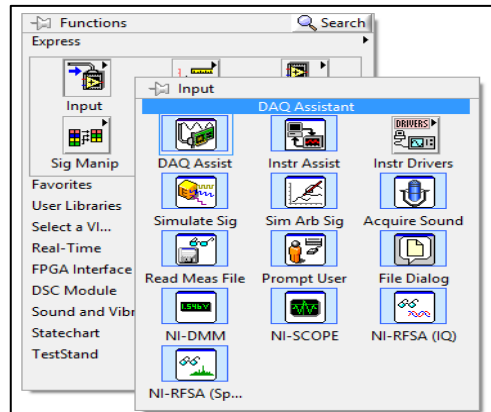


Fuente: Autor

## 4.5 Configuración de la DAQ Assis

4.5.1 *DAQ Assis*. Para adquirir la señal de la tarjeta NI 6009 hay que agregar un DAQ assist el cual se lo coloca en un lugar adecuado de la programación, las propiedades de este DAQ assist se van abrir automáticamente en un pequeño lapso de tiempo.

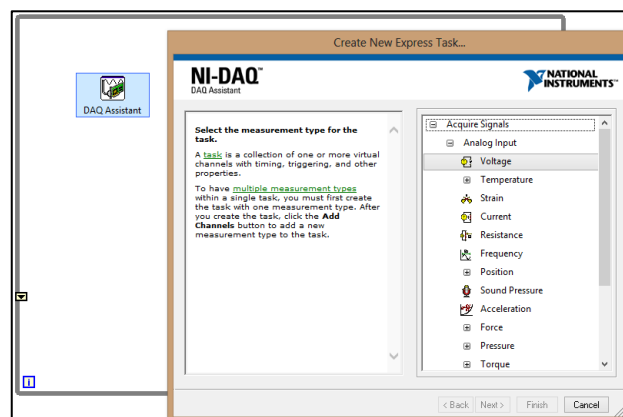
Figura 78. Agregación de una DAQ Assis



Fuente: Autor

En estas propiedades se puede determinar si son señales analógicas de contador o digitales, para este caso vamos a utilizar entradas analógicas debido a que los valores del voltaje que daban los sensores no me definían el 1 y el 0 en una entrada digital. En la DAQ ASSISTANT se va a seleccionar ACQUIRE SIGNALS en el cual se necesita ANALOG INPUT para lo cual interesa la entradas de VOLTAGE la cual nos va a dar en la tarjeta ocho entradas de las cuales se ocupa para los sensores magnéticos el ai4 y ai7.

Figura 79. Configuración de la DAQ Assis



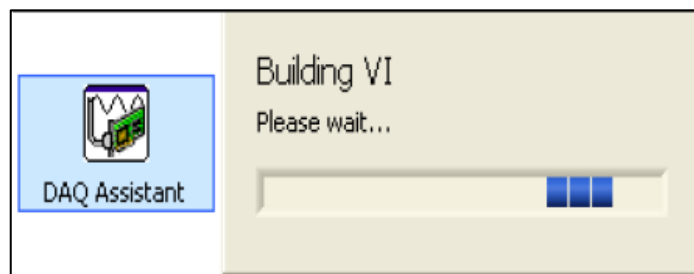
Fuente: Autor



En este se va a tener el voltaje de entrada del dispositivo de entrada y el tipo de salida, en el cual se selecciona los valores de voltaje en el cual el máximo es de 5V y el mínimo es de 0V, en la configuración vamos a tener una conexión a tierra a RCE que se ocupa por defecto y en el modo de adquisición se utiliza un ejemplo por demanda. Esto está configurado para un sensor por lo cual se necesita agregar otro canal de voltaje para otro sensor con las mismas referencias del anterior.

Al hacer correr el programa nos va a dar los valores da cada sensor en sus máximos valores y mínimos valores para comprobar si los valores arrojados por los sensores son los esperados mediante la programación, mediante esto se configura la DAQ ASSISTANT.

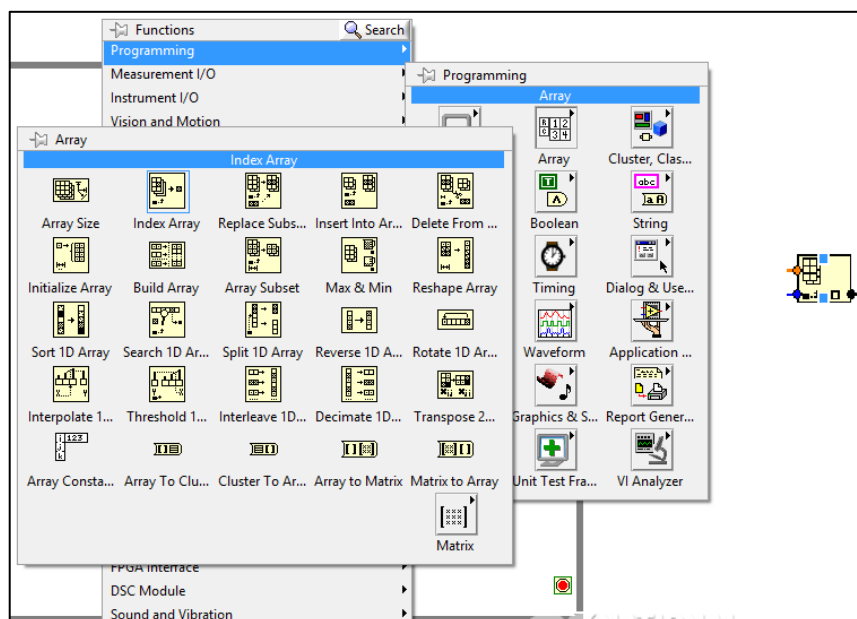
Figura 80. Esperar la configuración



Fuente: Autor

**4.5.2** *Index array.* Después de haber configurado la tarjeta debemos extrae los datos en dos partes debido a que estamos adquiriendo dos datos de la tarjeta NI 6009.

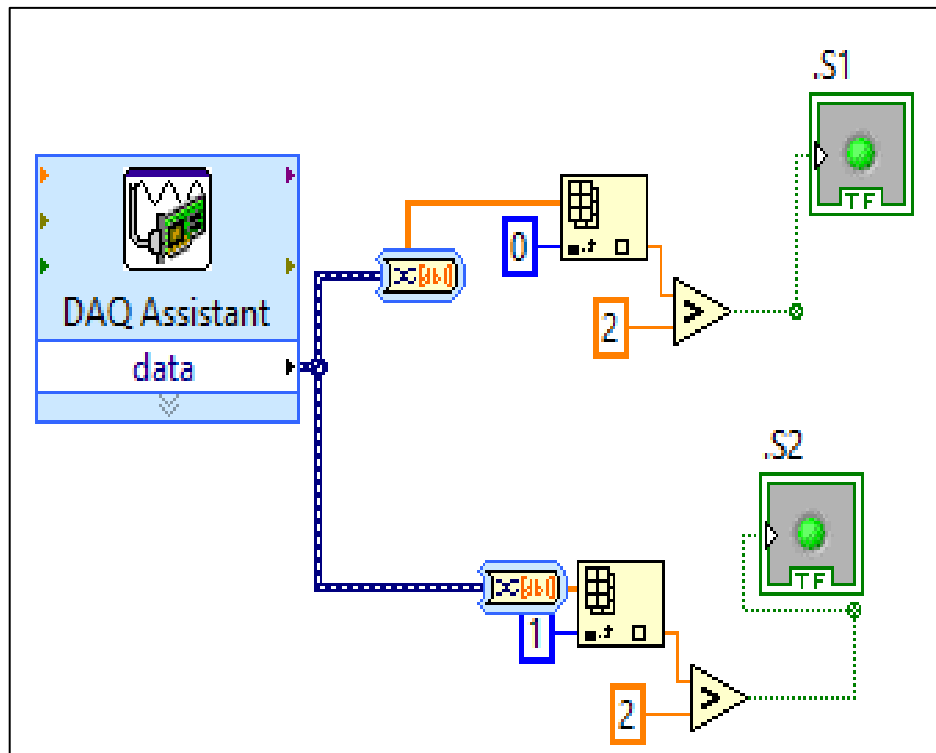
Figura 81. Colocación de un Index Array



Fuente: Autor

Del index array ingresa en un arreglo que da la DAQ Assist provee en el cual se va a tener el dato 0 para el valor del primer sensor y de 1 al valor del segundo sensor, en ambos sensores se pone un indicador el cual se acciona cuando el valor es mayor a 2. Esto quiere decir que cuando el S1 se acciona es porque el vástago del pistón se encuentra en el punto inicial y cuando se acciona el S2 es porque el vástago está en un punto final donde a comprimido completamente el amortiguador.

Figura 82. Fijación del S1 y S2 al Index Array



Fuente: autor

#### 4.6 Diseño y programación de la pantalla de inicio del programa.

En esta presentación del programa consta de tres pestañas.

- Inicio
- Medición
- Test

**4.6.1 Pestaña de inicio.** En esta pestaña viene incluida el logo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con la designación del tema de tesis y quien realizó este proyecto.

Esta pestaña esta adecuada para la introducción del software y describir para que está hecho dicho programa.

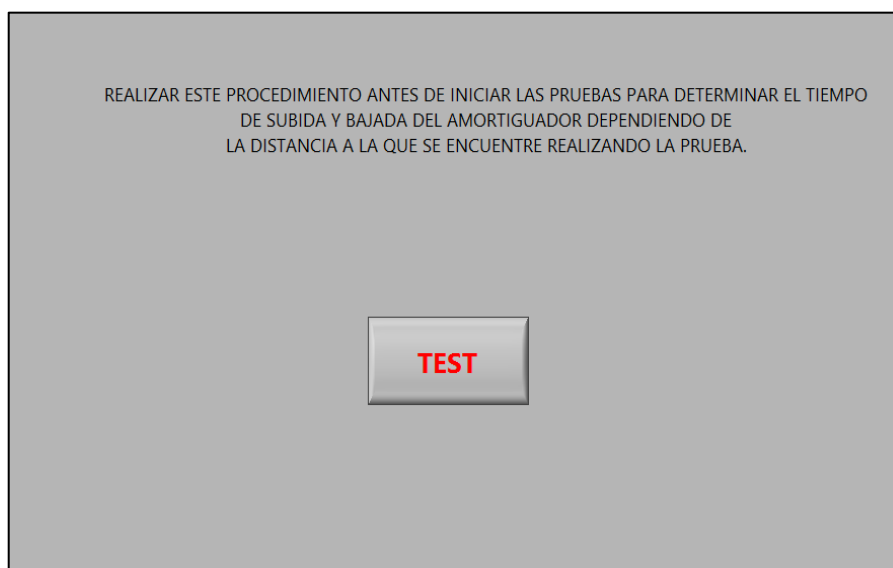
Figura 83. Pestaña de inicio



Fuente: Autor

**4.6.2 Pantalla de test.** En esta pestaña es la cual contiene un botón de TEST el cual sirve para determinar el tiempo de subida y de bajada del amortiguador dependiendo de la distancia a la que se encuentra realizando las pruebas.

Figura 84. Pestaña del test

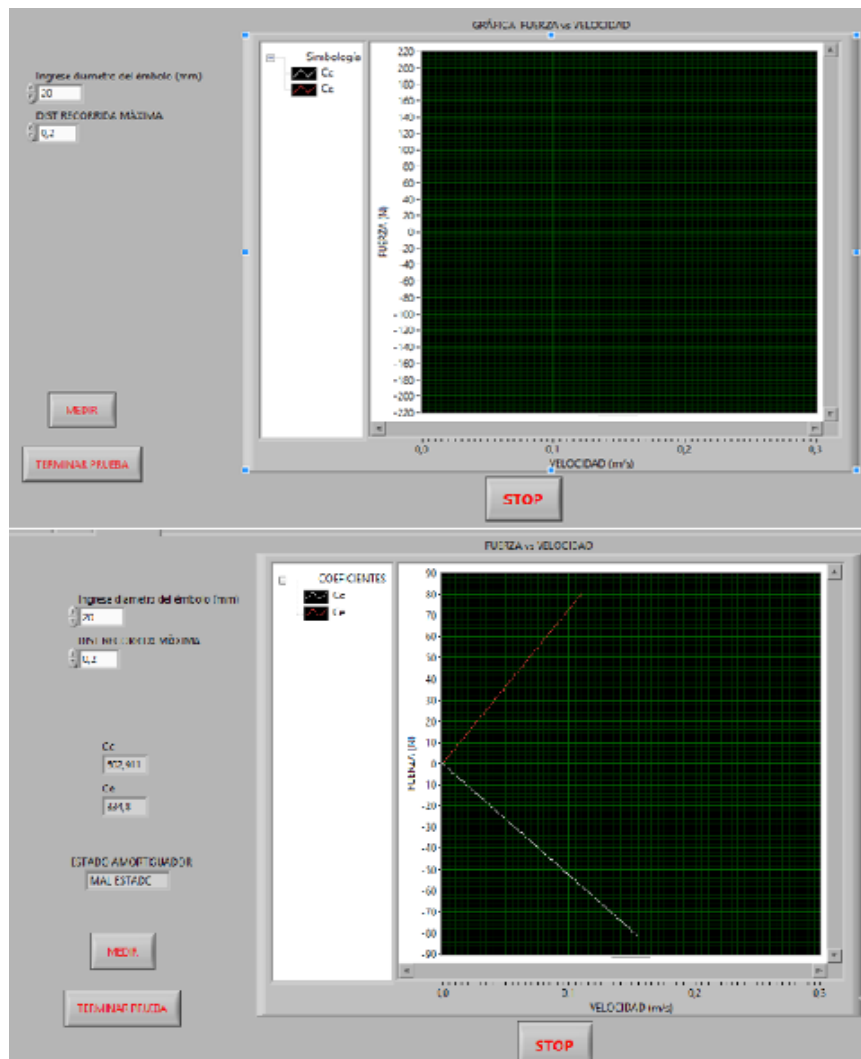


Fuente: Autor

**4.6.3 Pantalla de medición.** La pantalla de esta programación consta de una gráfica la cual se plasma en la pantalla mediante el proceso de medición de las condiciones del amortiguador.

Contiene tres botones el primero es MEDIR el cual inicia la prueba, el segundo botón es TERMINAR PRUEBA el cual sirve para detener la ejecución de la práctica y el tercer botón STOP el cual sirve para salir del programa.

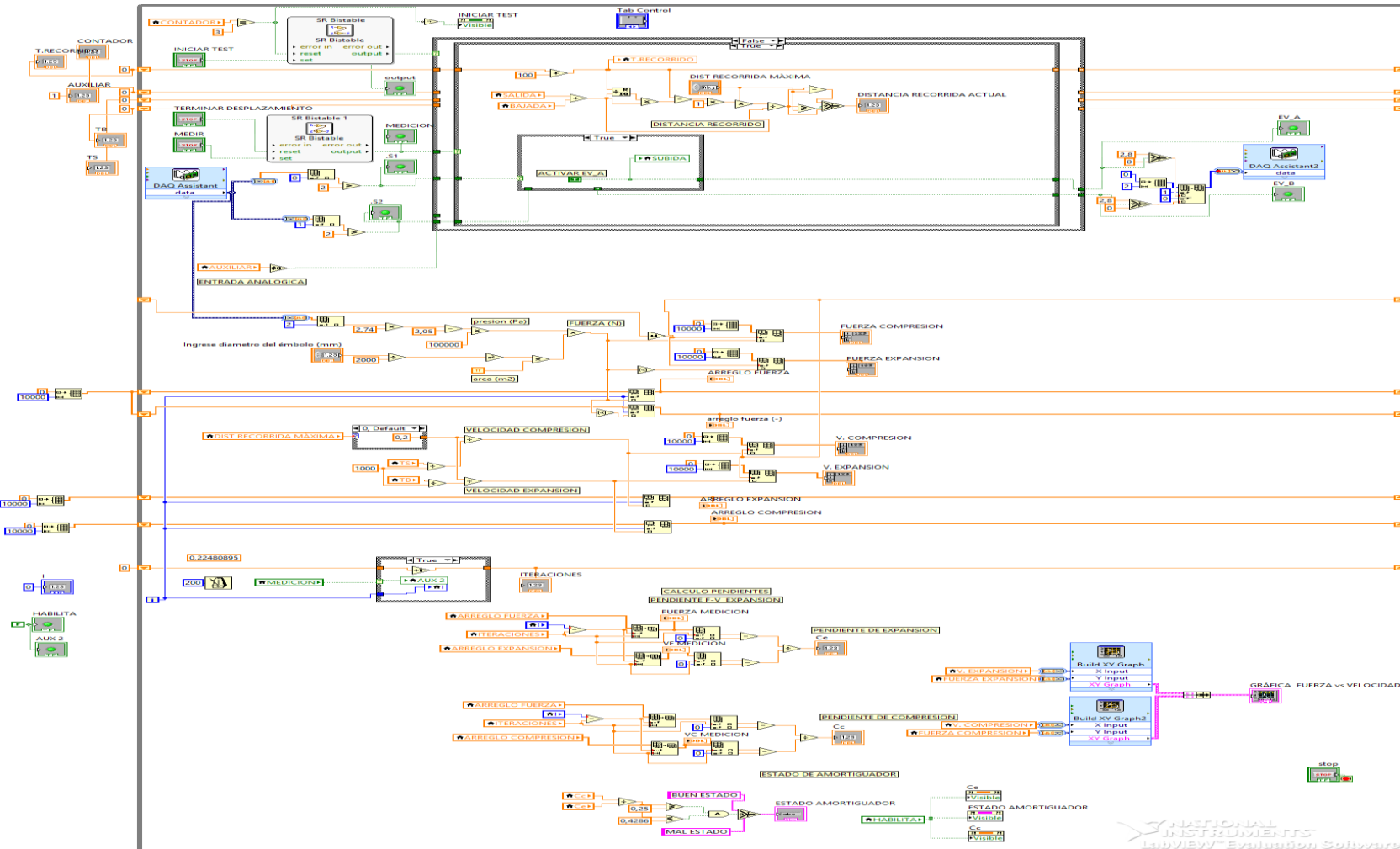
Figura 85. Pestaña de medición



Fuente: Autor

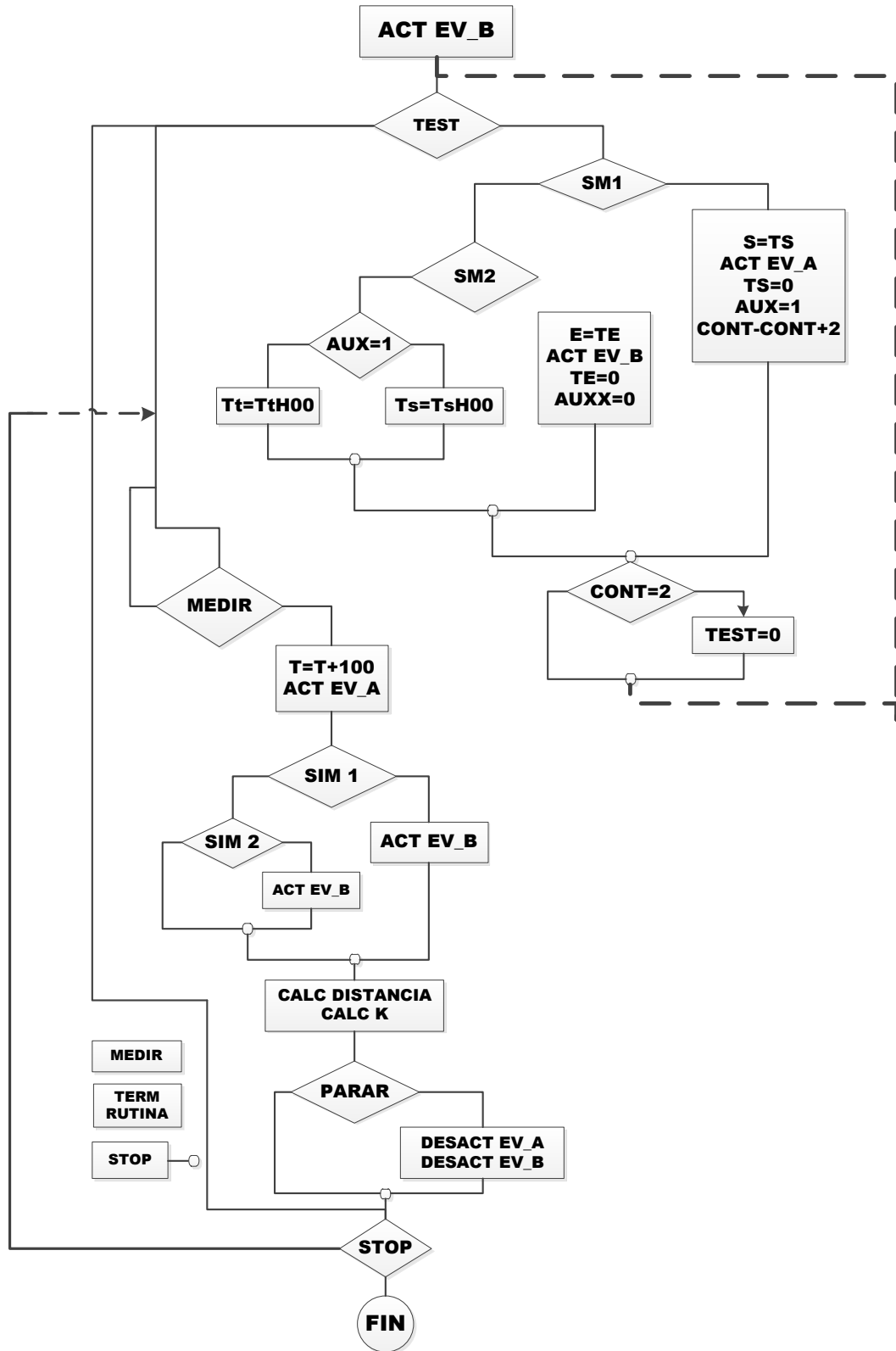
**4.6.4 Diseño final de la programación en LabVIEW.** Después de haber unido todo lo realizado anteriormente sobre la programación tenemos el siguiente gráfico donde podemos visualizar desde el inicio hasta su final.

Figura 86. Finalización del programa realizado



Fuente: Autor

4.6.5 *Diagrama de bloques.* Para la realización de este programa se necesitó el siguiente diagrama de bloques, donde se puede apreciar todos los procesos efectuados.



## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

En este capítulo detalla la construcción de la estructura metálica y la implementación o montaje del sistema neumático con sus respectivas necesidades.

#### 5.1 Construcción de la estructura

La estructura está construida con acero estructural cuadrado de 50x50x3 mm ASTM A36.

Las columnas de soporte del cilindro neumático y amortiguador con acero estructural rectangular de 100x50x3 mm ASTM A36.

**5.1.1** *Construcción de mesa de sujeción.* Para realizar este trabajo se realizaron los siguientes pasos detallados a continuación:

- Se corta con una cierra eléctrica seis tubos cuadrados de 775mm que van a ser las columnas verticales, dos de 1670 mm que son las horizontales, cinco de 640mm que determinan el ancho de la estructura, uno de 773mm y de 753mm que son dos columnas horizontales adicionales para reforzar la estructura.

Figura 87. Tubo cuadrado AST M36



Fuente: Autor

- Con soldadura manual de revestido Smaw y electrodos 6011, haciendo coincidir las esquinas y topes ya establecidos se obtiene la estructura como se muestra en la siguiente figura.

Figura 88. Mesa de sujeción con sus cordones de suelda



Fuente: Autor

- Después de haber colocado todas las piezas cortadas y de haber soldado, se procede a retirar toda la escoria que se formó durante el proceso de soldadura.
- Con una pulidora eléctrica se iguala los realces de los cordones de la suelda para así tener un nivel perfecto para posteriores trabajos de la culminación del proyecto

Figura 89. Retirada de escoria y pulida



Fuente: Autor



**5.1.2** *Construcción de las columnas de soporte.* La construcción del soporte se lo realizo mediante los siguientes pasos:

- Con la ayuda de una cierra eléctrica el tubo rectangular se procede a cortar dos de 1200mm que son las columnas centrales de apoyo superior del amortiguador, una de 750 que es el apoyo superior de las columnas, uno de 773mm que el apoyo inferior del cilindro neumático.

Figura 90. Tubo rectangular ASTM36



Fuente: Autor

- Con soldadura manual de revestido Smaw y electrodos 6011, haciendo coincidir las esquinas de las columnas y topes ya establecidos se obtiene la estructura como se muestra en la siguiente figura.

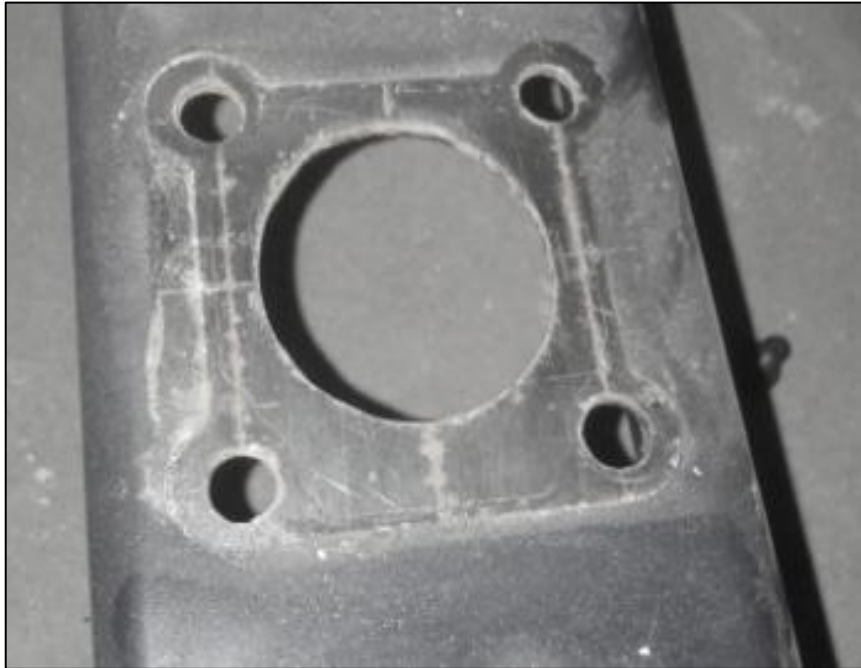
Figura 91. Columnas del soporte cilindro-amortiguador



Fuente: Autor

- Se procede a soldar el soporte inferior del cilindro para realizar su respectivo apoyo y mediante un taladro eléctrico realizamos cuatro perforaciones de 7mm en cuadrado de distancia entre centros de 60mm y una perforación central de 55mm como se muestra en la figura.

Figura 92. Perforaciones de colocación del cilindro neumático



Fuente: Autor

**5.1.3** *Construcción del soporte cilindro-amortiguador.* El soporte se lo construyó mediante los siguientes pasos:

- Se corta un tubo en C de 100x50x2 mm AST M36 una distancia de 650mm que es el apoyo entre el cilindro y el amortiguador durante el trabajo de esta estructura y cuatro platinas de 100x50mm.
- Se suelda en cada esquina del tubo en C una platina, dejando 50mm de saliente de la platina.
- Se retira la escoria y se pulen los cordones de suelda para tener una pieza sin imperfecciones.
- En las platinas sobresalientes se procede hacer una perforación con el taladro eléctrico de 10mm en el centro de las platinas y cuatro perforaciones de 7mm en cuadrado de distancia entre centros de 60mm y una perforación central de 55mm como se muestra en la figura.

Figura 93. Soporte cilindro-amortiguador



Fuente: Autor

**5.1.4 Construcción del soporte amortiguador.** El soporte de los amortiguadores se realizó mediante los siguientes pasos.

- Se corta un tubo rectangular una medida de 650mm y cuatro patillas de 100x50mm
- De la misma manera que el soporte cilindro-amortiguador se suelda en cada esquina del tubo rectangular una platina, dejando 50mm de saliente de la platina.
- Se retira la escoria y se pulen los cordones de suelda para tener una pieza sin imperfecciones.
- En las patillas sobresalientes se procede hacer una perforación con el taladro eléctrico de 10mm en el centro de las patillas.

Figura 94. Soporte del amortiguador



Fuente: Autor

**5.1.5 Colocación de platina para el tablero neumático.** Para la colocación de las platinas se determinaron las siguientes características y pasos:

- De una plancha de acero se corta con la ayuda de una sierra eléctrica una pieza de 750x175mm.
- Con soldadura manual de revestido Smaw y electrodos 6011 se procede a colocar y soldar en nuestra estructura.
- Se retira la escoria que se ha producido durante el proceso de soldadura.
- Mediante una pulidora se procede a reiterar todo el exceso de material y a pulir las esquinas para evitar algún tipo de accidente en futuras manipulaciones.

Figura 95. Platina del tablero neumático



Fuente: Autor

- Para culminar esta etapa con el taladro electrónico hacer los agujeros donde van a ir instaladas las partes neumáticas y sus respectivos tornillos de sujeción.

Figura 96. Platina agujereada



Fuente: Autor

**5.1.6 Construcción del soporte de sujeción del amortiguador.** Para la construcción del soporte de sujeción del amortiguador se debe tomar encuentre los diferentes tipos de amortiguadores que existen en el mercado, para este caso se ha seleccionado el tipo más común de amortiguadores que existe.

- De una platina de espesor de 10mm se corta tres pedazos de 50x50mm esto se realiza con la ayude de una cierra.
- Sobre uno de estos pedazos se coloca en los extremos los dos pedazos restante formando una U y con la suelda eléctrica se procede a soldar
- Se procede a retirar la escoria de la suelda y a pulir los excesos de suelda que hayan quedado para obtener una pieza lisa.
- Debido a que los amortiguadores se sujetan de ambas esquinas, siguiendo los tres procesos anteriores se construye otra pieza similar.
- En la parte inferior de las piezas en U se procede hacer un agujero en su centro de 10mm con la ayuda del taladro eléctrico y en sus costados de la misma manera

Figura 97. Soporte de sujeción del amortiguador en U



Fuente: Autor

**5.2 Instalación del sistema neumático.** En la instalación del sistema neumático se subdivide en:

- Área de alimentación y mantenimiento
- Área de monitoreo eléctrico de la presión
- Área del control del cilindro
- Instalación del cilindro neumático

**5.2.1** *Área de alimentación y mantenimiento.* En esta sección va instalada la unidad de mantenimiento y el regulador de flujo de aire, al inicio de esta va un acople rápido de aire con una manguera de caucho de 3/8" y que va conectado a la unidad de mantenimiento que ingresa el aire comprimido pasa por su interior lo que permite pasar aire casi limpio para después controlar su paso mediante el regulador de flujo de aire que va colocado a continuación.

Figura 98. Alimentación y mantenimiento de aire



Fuente: Autor

**5.2.2** *Área de monitoreo eléctrico de la presión.* En esta área va instalado el PBT o sensor de presión ya que es el encargado de recibir aire del regulador de presión y este censa que cantidad está pasando por sus conductos, estos datos los envía a la tarjeta de adquisición 6009, la cual se encarga de almacenarlos y utilizarlos para futuros cálculos y mandos neumáticos.

Figura 99. Área de monitoreo de presión



Fuente: Autor

**5.2.3** *Área del control del cilindro.* En esta sección va colocada la electroválvula 5/3 la cual vamos a utilizar una entrada de aire y dos de salidas, y para su mantenimiento y lubricación vamos a colocar dos silenciadores de bronce.

Figura 100. Área de control del cilindro



Fuente: Autor

Esta área es la que ejecuta las acciones, se encarga de enviar aire comprimido por cualquiera de sus dos salidas de la electroválvula dependiendo de las órdenes de la tarjeta de adquisición 6009 y de las necesidades de las prácticas a realizar.

**5.2.4** *Instalación del cilindro neumático.* Antes de colocar el cilindro se debe colocar en la entrada y salida de aire los controladores de flujo-directo, los cuales servirán en futuras prácticas el control del flujo de aire.

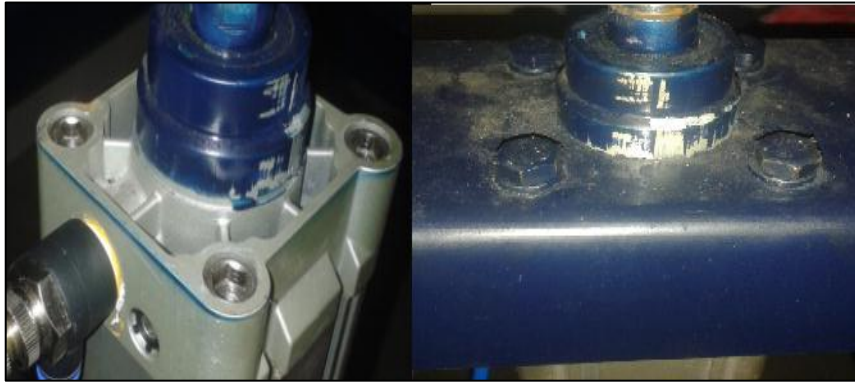
Figura 101. Colocación de los controladores de flujo-directo



Fuente Autor

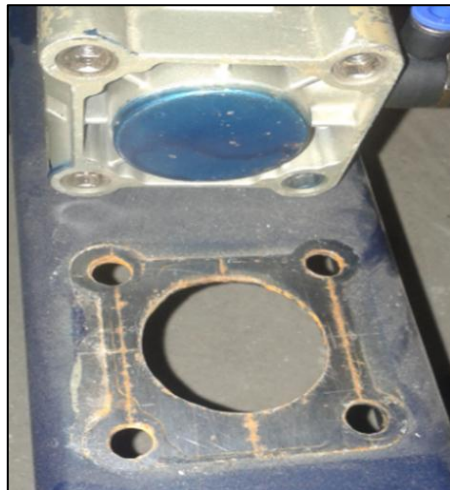
El cilindro va ir instalado entre el soporte Cilindro-Amortiguador y el soporte inferior del cilindro éste va ir asegurado por medio de tornillos tanto en la parte superior como en la inferior.

Figura 102. Colocación del soporte cilindro-amortiguador



Fuente: Autor

Figura 103. Colocación del soporte inferior



Fuente: Autor

Figura 104. Instalación completa del cilindro neumático



Fuente: Autor



**5.2.5 Colocación de mangueras.** Este parte de la instalación es sencilla debido a que los racores rectos, racores de codos, uniones de tee, reguladores de flujo-directo, son de acople rápido esto quiere decir que la manguera de poliuretano se la coloca en su interior presionando de manera normal ya que éstos tienen un sistema interno de acoplamiento que aseguran la manguera firmemente y evitan la salida de aire comprimido.

En esta parte se muestra la colocación de todas las mangueras de poliuretano que se necesitan para hacer funcionar el sistema neumático.

Los cuales inicia desde la unidad de mantenimiento que envía aire comprimido al regulador de flujo el cual se conecta al PBT sensor de presión de aire que se encarga de enviar aire a la electroválvula para que esta se conecte con los reguladores de flujo-directo, tanto en la entrada como en la salida de aire del cilindro.

### **5.3 Instalación del sistema electrónico**

Este sistema consta de múltiples secciones las cuales se detalla a continuación:

- Colocación de la tarjeta de adquisición 6009
- Colocación de la fuente de energía
- Colocación del circuito electrónico
- Cableado de la electroválvula
- Colocación de los sensores magnéticos
- Cableado del sensor presión de aire
- Ajuste de bornes de la tarjeta y circuito eléctrico

**5.3.1 Colocación de la tarjeta de adquisición 6009.** La tarjeta de adquisición va colocada por debajo del tablero neumático ya que ahí va estar todo lo que respecta al cableado.

Esto va sobre una tabla MDF adecuada con rieles para fácil extracción ya sea para el mantenimiento o reparación del cableado en futuras imperfecciones del equipo o ya sea para verificación del cableado con posibles cortos o para una inspección visual de los elementos electrónicos del circuito y sobre todo de la tarjeta de adquisición que es el corazón del circuito electrónico.

Figura 105. MDF para colocación sistema electrónico



Fuente: Autor

Esta tarjeta va a tener un cable de salida USB, el cual va a servir para conectar con una PC y poder utilizar el software desarrollado en LabVIEW. Este cable va estar a disposición sobre el banco de pruebas.

**5.3.2** *Colocación de la fuente y circuito electrónico.* El circuito electrónico va a estar sobre la tabla MDF asegurada por tornillos, este circuito tiene conectada una fuente en su entrada la cual, por medio del circuito transformas a 5V los cuales van conectados a los sensores electromagnéticos.

Además constan de una sección con dos relés, la cual se encarga de controlar los válvulas solenoides para activarlas y desactivarlas según la necesidad del caso.

**5.3.3** *Cableado de la electroválvula.* Cada válvula solenoide va ir conectada a un relé los cuales por medio del circuito eléctrico se conectan a la tarjeta de adquisición DAQ 6009, para mediante ella activar o desactivar el paso de aire hacia la entrada o salida de aire del cilindro neumático.

De la misma válvula solenoide y relé vamos a sacar dos cables los cuales van a conectarse a neutro y fase respectivamente para luego conectar a 110V.

Las salidas tanto a fase como a neutro de cada válvula solenoide se pueden puentear para tener un solo enchufe y hacerlo menos complejo

**5.3.4** *Cableado del sensor presión de aire.* Este sensor de presión de aire va ir conectado a la fuente ya que trabajo con un voltaje de 8 a 30V, de ahí se va a conectar a la tarjeta de adquisición DAQ 6009.

Este sensor debe monitorear el caudal de presión que está pasando y emitir estos valores para posteriores cálculos en futuras pruebas.

**5.3.5** *Colocación de los sensores magnéticos.* Estos sensores magnéticos funcionan con 5V los cuales se reciben del circuito electrónico que se encarga de brindar este voltaje, pero a su vez van conectados a la tarjeta de adquisición DAQ 6009 para recibir datos de la posición del émbolo del cilindro.

Estos sensores van conectados sobre los canales del cilindro neumático diseñados específicamente para este fin, se los asegura por medio de un tornillo que gira sobre su propio eje.

Figura 106. Colocación de los sensores magnéticos



Fuente: Autor

Todo este cableado se lo oculta por medio de canaletas que van colocadas por las esquinas de los tubos de la estructura desde el inicio del cableado hasta llegar al circuito electrónico y la tarjeta de adquisición DAQ 6009, estas regletas nos dan mejor comprensión del cableado porque se utiliza para cada sección del sistema electrónico y además nos da una mejor estética en su visualización.

Figura 107. Banco de pruebas terminado



Fuente: Autor

## CAPÍTULO VI

### 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se va a detallar los gastos efectuados en el diseño, construcción e implementación de este proyecto para así obtener el valor del gasto total invertido.

**6.1 Costos directos.** Dentro de los costos directos se ha considerado todos los costos que afectan al proyecto como son:

- Costos de materiales
- Costos de máquina-herramientas
- Costos de mano de obra
- Costos por transporte

#### 6.1.1 Costos de materiales

Tabla 8: Gastos de instalación del área neumática

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNIT. (USD)	P. TOTAL (USD)
Cilindro ISO D63mm C600mm	1	370,30	370,30
Unidad de mantenimiento GFR200-08 1/8",	1	74,25	74,25
Electroválvulas 5/3 – 1/4" , 110 V AC (PVC)	1	142,80	142,80
Regulador de flujo 3/8" x 6mm	2	11,45	22,90
Regulador de presión 1/4", miniatura	1	24,70	24,70
Tubo poliuretano 1/8" x 6mm	10	0,9	9
Racor recto 1/8" x 6mm	4	1,30	5,20
Unión tee 6mm	2	1,70	3,40
Silenciador de bronce sintetizado 1/4" x 6mm	2	1,5	3
Sensor magnético	2	28,75	57,5
PBT (Sensor de presión de aire)	1	274	274
Teflón	2	1,20	2,40
Reductor hembra-hembra de 3/8" a 1/4"	1	3,50	3,50
Acople rápido para compresor	1	5	5

Tabla 8. (Continuación)

Manguera de caucho 3/8"	3	1,20	3,60
<b>Total de instalación del área neumática</b>			<b>1001,55</b>

Fuente: Autor

Tabla 9: Gastos de elaboración de estructura

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNIT. (USD)</b>	<b>P. TOTAL (USD)</b>
Acero estructural ASTM A36	2	35	70
Rieles	1	15	15
Plancha de tol	1	5	5
Plancha de MDF	1	25	25
<b>Total de elaboración de estructura</b>			<b>115</b>

Fuente: Autor

Tabla 10: Gastos de instalación del sistema de adquisición de datos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNIT. (USD)</b>	<b>P. TOTAL (USD)</b>
Tarjeta NI DAQ 6009	1	500	500
Fuente eléctrica (3-12)V	1	15	15
Cable multifilar #18	20	1,2	12
Circuito eléctrico de regulación de voltaje y control de válvulas solenoides	1	10	10
<b>Total instalación del sistema de adquisición de datos</b>			<b>547</b>

Fuente: Autor

### 6.1.2 Costo por maquinaria y equipos utilizados

Tabla 11: Gastos de maquinaria y equipo utilizado

DESCRIPCIÓN	HORAS-EQUIPO (H)	COSTO-HORAS (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Soldadora eléctrica	10	5	50
Taladro de mano	8	2	16
Compresor de aire	5	3	15
Pulidora	5	2	10
<b>Total maquinaria y equipos utilizados</b>			<b>91</b>

Fuente: Autor

### 6.1.3 Costo de mano de obra

Tabla 12: Gastos de mano de obra

OPERARIO	TRABAJO REALIZADO	HORAS- HOMBRE	SALARIO- HORAS	V. TOTAL (USD)
Maestro soldador	Medición, corte y soldadura de la estructura	10	10	100
Ayudante de maestro	Medición corte y ayuda al maestro	5	10	50
Maestro pintor	Fondeado y pintado de la estructura	2	15	30
<b>Total de mano de obra</b>				<b>180</b>

Fuente: Autor

### 6.1.4 Costo por transporte

Tabla 13: Gastos por transporte

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL (USD)
Movilización de material	30
Movilización del equipo Santo Domingo – Riobamba para verificación y comprobación de la programación	120
<b>Total de gastos por transporte</b>	<b>150</b>

Fuente: Autor

## 6.2 Costos indirectos

Son aquellos costos que no pueden asignarse con precisión debido a varios factores

Tabla 14: Gastos indirectos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO TOTAL (USD)</b>
Capacitación solidworks 2013	30
Asesoramiento y criterios de ingeniería	700
Imprevistos	150
<b>Total de gastos indirectos</b>	<b>880</b>

Fuente: Autor

## 6.3 Costo total

El costo total es la suma de todos los gastos directos e indirectos que se ha realizado en la elaboración de este proyecto, por tanto:

Tabla 15: Gastos totales

<b>GASTOS TOTALES</b>	<b>COSTO TOTAL (USD)</b>
Total de instalación del área neumática	1001,55
Total instalación del sistema de adquisición de datos	547
Total maquinaria y equipos utilizados	91
Total de mano de obra	180
Total de gastos por transporte	150
Total de gastos indirectos	880
Total de elaboración de estructura	115
<b>Total de gastos realizados</b>	<b>2964.55</b>

Fuente: Autor



## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

En el diseño realizado en el software de modelar se comprobó que soporta una fuerza de 2500 N, la cual es superior a la resistencia de un amortiguador y con esas referencias se procedió a realizar la construcción.

Se obtuvo curvas de la fuerza en el software de LabVIEW en interfaz con la tarjeta de adquisición DAQ NI USB-6009, en las que se visualizan que sufren una variación dependiendo del estado en que se encuentra el amortiguador ya sea en buen estado o mal estado.

Se determinó que el estado del amortiguador en un vehículo comercial se pudo obtener mediante la relación del coeficiente de compresión y expansión, cuyo valor debe estar entre 20/80 y 30/70.

Se realizó la programación del software mediante estradas analógicas las cuales están receptadas por un DAQ ASSISTT en el software programación LabVIEW.

Las electroválvulas se pudieron controlar por medio de la implementación de relés para cada solenoide, y estos a su vez controlados por el software realizado.

#### 7.2 Recomendaciones

Al momento de realizar el diseño de la estructura en el software para modelar se debe tener en cuenta la clase de material a utilizar para dicha estructura siempre y cuando exista en el mercado y su precio no sea tan elevado.

Respetar las especificaciones descritas en los planos, con el fin de garantizar la construcción óptima de la estructura para su buen desempeño.

Al momento de manipular la tarjeta de adquisición DAQ NI-6009 se debe tener a lado el respectivo manual de uso y especificaciones para evitar que este dispositivo llegue a dañarse o quemarse.

Para evitar el deterioro de las propiedades de los amortiguadores durante las prácticas se debe tener en cuenta que el equipo no se debe tener prendido por un lapso mayor a 30 segundos.

Al momento de realizar las prácticas en el equipo que se desarrolló, se debe tener precauciones por tal razón se debe utilizar mandil y si lo cree necesario unas gafas de seguridad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASOSISMICA. 2000.** Fuerzas aplicadas a una estructura. [En línea] 2000.  
<http://estructuras.eia.edu.co/estructuras/cargas/fuerzas%20y%20metodos.htm>.
- BÁEZ, Marco Alonso. 2001.** Estudio del comportamiento térmico y dinámico de los amortiguadores para vehículos automóviles tipo turismo. [En línea] 2001.  
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6687/01Mab01de01.pdf?sequence=1>.
- BUENACHE, Alejandro. 2000.** Circuito neumático. [En línea] 2000.  
[http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo1/C1\\_apartado5.htm](http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo1/C1_apartado5.htm).
- CHACON, Victor. 2009.** diseño de una suspensión para un vehículo automovil basado en amortiguadores magneto-reológicos. [En línea] 2009. [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10792/Chacon\\_Hernando\\_Victor\\_PFC\\_Adaptacion%20suspension%20MR%20turismo.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10792/Chacon_Hernando_Victor_PFC_Adaptacion%20suspension%20MR%20turismo.pdf?sequence=1).
- GRUPO CEAC. 2001.** Tipos de amortiguadores. *Manual ceac del automovil*. Barcelona : Ceac, 2001.
- NATIONAL INSTRUMENTS. 2003.** Introduccion a LabVIEW. [En línea] 2003.  
<http://fisica.udea.edu.co/~lab-gicm/Curso%20de%20Instrumentacion/Curso%20de%20LabVIEW%20Seis%20Horas.pdf>.
- NATIONAL INSTRUMENTS. 2006.** Guia de uso NI USB-6009. [En línea] 04 de 2006.  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/371728b.pdf>.
- WIKIPEDIA. 2013.** Diseño estructural. [En línea] 11 de 11 de 2013.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o\\_estructural](http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_estructural).
- WIKIPEDIA. 2013.** Empotramiento. [En línea] 13 de 11 de 2013.  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Empotramiento>.