

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN
DEL SISTEMA DE FRENADO DISEÑADO PARA VEHÍCULOS PESADOS”**

POR

ARTURO CISNEROS TOPETE

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

OCTUBRE, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**“METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN
DEL SISTEMA DE FRENADO DISEÑADO PARA VEHÍCULOS PESADOS”**

POR

ARTURO CISNEROS TOPETE

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAestrÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

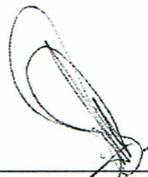
SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

OCTUBRE, 2018

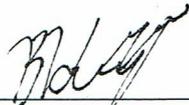
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis “METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE FRENADO DISEÑADO PARA VEHÍCULOS PESADOS” realizada por el alumno “ARTURO CISNEROS TOPETE”, con número de matrícula 1477212, sea aceptada para su defensa como opción al grado de “MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

El Comité de Tesis



Dra. Tania Paloma Berber Solano
Asesor



Dr. Héctor Gilberto Barrón González
Revisor



M.C. Enrique Ángel Garza Fernández
Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado



AGRADECIMEINTOS

A CONACYT por los apoyos económicos brindados durante mis estudios de posgrado y durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Le agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo brindado durante mis estudios, al mismo tiempo agradezco a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, en especial a la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Automotriz, por transmitirme vastos conocimientos en diferentes disciplinas.

Al la Dra. Tania Berber Solano, por sus enseñanzas, consejos, dirección y supervisión durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Dr. Héctor Gilberto Barrón González, por sus conocimientos, asesoría, infraestructura y material brindado durante este trabajo de investigación.

A NAVISTAR México, por depositar su confianza en mí para llevar a cabo este proyecto, en especial al personal que continuamente estuvo apoyando, asesorando y transmitiendo los conocimientos necesarios para este trabajo: M.C. Ángel Enrique Garza Fernández, Ing. Joel Estrada Jasso, Ing. Jesús Daniel Reséndiz Fuentes y al M.C. Marco Zapiaín.

Deseo expresar el más sincero agradecimiento a mis padres por el invaluable apoyo, por la educación y consejos que me dieron a lo largo de mi vida ya que nunca dejare de aprender de ellos.

A todos mis amigos y docentes que estuvieron trabajando conmigo, con los que compartí experiencias y conocimientos.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres y hermanos: Arturo Cisneros, Elvira Topete, Vanessa Cisneros, Moisés Cisneros, así como también a mi abuelo Ángel Topete. Como muestra de agradecimiento y cariño por todo el apoyo durante este tiempo.

Arturo Cisneros Topete

Índice General

Índice de Figuras	VI
Lista de Tablas	IX
Nomenclatura y Abreviaciones	X
Resumen	XI
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema: sistema de frenos para vehículos pesados. 2	
1.2. Empresa NAVISTAR.....	4
1.3. Conceptos básicos en sistemas de frenado en vehículos pesados.	4
1.3.1. Regulaciones que rigen el sistema de frenos en vehículos pesados	6
1.4. Hipótesis	7
1.5. Objetivo General	7
1.5.1. Objetivos Específicos	7
1.6. Justificación.....	8
1.7. Estructura de la Tesis	9
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1. Introducción.....	11
2.2. Sistema de Frenado de Vehículos Pesados.....	11
2.2.1. Descripción de los componentes del Sistema de Frenado de Vehículos Pesados.....	11
2.2.1.1. Compresor de Aire.....	12
2.2.1.2. Secador de Aire.....	13
2.2.1.3. Gobernador.	13
2.2.1.4. Tanques de Reservas de Aire.....	14
2.2.1.5. Válvula de control de frenos de servicio (Válvula de Pie).	14
2.2.1.6. Válvula de Control de Frenos de Estacionamiento.....	16
2.2.1.7. Válvula Relevadora.....	16
2.2.1.8. Válvula de Freno de Resorte.....	22
2.2.1.9. Válvula de Liberación Rápida	23
1.1.1.1. Válvula Solenoide.....	24
2.2.1.10. Válvula de protección de tráiler (TP5).....	25
2.2.1.11. Cámaras de Frenado.....	26
2.2.1.12. Cámaras de frenado con resortes de estacionamiento.....	27
2.2.1.13. Mangueras.....	28
2.2.1.14. Conectores.....	29
2.2.2. Funcionamiento del Sistema de Frenos de un Vehículo Pesado	33
2.2.2.1. Frenos de Servicio.....	34
2.2.2.2. Frenos de Estacionamiento.	36

2.2.2.3.	Frenos de Emergencia.....	36
2.2.2.4.	Frenado Compuesto.	37
2.3.	Descripción de la Norma FMVSS 121	38
2.4.	Metodologías desarrolladas para la caracterización del sistema de frenado.	39
CAPÍTULO 3	ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS	43
3.1.	Introducción.....	44
3.2.	Casos que generan desaprobación de la norma FMVSS 121	44
3.3.	Determinación de componentes para caracterización.	47
3.4.	Estándares de procedimientos de pruebas.	48
3.4.1.	Especificaciones ambientales y de instrumentación.....	49
3.4.2.	Procedimientos de experimentación.....	50
3.5.	Obtención de curvas Presión vs Tiempo.	54
3.5.1.	Comportamiento del Aire	54
3.6.	Análisis Para Propuesta de Caracterización.	55
3.6.1.	Configuraciones de experimentos.....	55
3.6.2.	Condiciones ambientales.	57
3.6.3.	Sistema de adquisición de datos.	58
CAPÍTULO 4	CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES Y DISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS.	60
4.1.	Introducción.....	61
4.2.	Desarrollo de protocolos para la caracterización de componentes del sistema de freno.....	61
4.2.1.	Diseño de Experimentos de Pruebas.....	62
4.2.1.1.	Componentes especiales diseñados.....	62
4.2.1.2.	Diseño de experimentos para la caracterización de mangueras.	63
4.2.1.3.	Conectores.....	65
4.2.1.4.	Válvulas	67
4.2.1.5.	Procedimiento de experimentación.....	79
4.2.2.	Diseño Conceptual de Mesa de Pruebas.....	82
4.2.2.1.	Módulo 1	82
4.2.2.2.	Módulo 2.....	84
4.2.3.	Diseño de Sistema de Adquisición de Datos	90
4.2.3.1.	Estructura de un sistema de adquisición de datos	90
4.2.3.2.	Flujo de la aplicación de adquisición de datos.....	98
4.2.3.3.	Panel Frontal de Aplicación.....	100
4.2.3.4.	Etapa de calibración.	102
4.2.3.5.	Etapa de medición.....	103
4.2.3.6.	Etapa de procesamiento y almacenamiento de datos.	104
CAPÍTULO 5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	106

5.1.	Análisis de resultados entregados a la empresa.....	107
5.1.1.	Diseño de Experimentos.....	107
5.1.2.	Diseño de Mesa de Pruebas.....	108
5.1.3.	Sistema de Adquisición de Datos.....	109
5.2.	Aportaciones a la Empresa.....	109
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....		111
6.1.	Conclusiones Generales.....	112
6.2.	Conclusiones Particulares.....	113
6.3.	Trabajo a Futuro.....	115
Referencias.....		116

Índice de Figuras

Figura 1.1: Esquemático de la configuración básica del sistema de frenos [1]	3
Figura 1.2: Tipos de Frenos [8].....	5
Figura 2.1: Etapa de Admisión de un compresor de aire [1].	12
Figura 2.2: Etapa de Compresión de un compresor de aire [1].....	13
Figura 2.3: Secador de Aire [1].....	13
Figura 2.4: Gobernador de aire [1].....	14
Figura 2.5: Tanque de Reserva de Aire [1].	14
Figura 2.6: Válvula de control de frenos de servicio [1].....	15
Figura 2.7: Válvula de Pie y su esquemático [7] [5].....	15
Figura 2.8: Válvula de frenos de estacionamiento [1].	16
Figura 2.9: Válvula de freno de estacionamiento con botón para frenos de estacionamiento de tractor [1].	16
Figura 2.10: Válvula Relevadora [12].....	17
Figura 2.11: Válvula relevadora en etapa de aplicación [13].....	18
Figura 2.12: Válvula relevadora en etapa de balance [13].....	19
Figura 2.13: Válvula relevadora en etapa de liberación [13].....	20
Figura 2.14: Válvula relevadora R14 [12].	21
Figura 2.15. Válvula relevadora ATR6 [13].	21
Figura 2.16: Válvula ATR en etapa de operación del sistema antibloqueo (ABS) [13]..	22
Figura 2.17: Válvula de Freno de Resorte Modelo SR7 [1].	23
Figura 2.18: Válvula de liberación rápida [1].	23
Figura 2.19: Corte transversal de válvula de liberación rápida [10].	24
Figura 2.20: Válvula Solenoide [17].....	25
Figura 2.21: Válvula de Protección de Tráiler [18].	25
Figura 2.22: Esquemático de válvula de protección de tráiler [18].	26
Figura 2.23: Cámaras de Frenado, frenos liberados (a) frenos aplicados (b) [5].....	27
Figura 2.24: Cámaras de frenado con resortes para frenos de estacionamiento [1].....	27
Figura 2.25: Mangueras de Nailon.	28
Figura 2.26: Mangueras de caucho, en cámaras de frenos traseras.	29
Figura 2.27: Conectores del sistema de frenos.....	30
Figura 2.28: Ángulos especificados en el estándar NPT.....	31
Figura 2.29: Condiciones de contacto en roscas NPTF [21].....	32
Figura 2.30: Conexión tipo PTC [23].	33
Figura 2.31: Esquemático de un sistema de frenado de vehículos pesados.	34
Figura 2.32: Botón de válvula de frenos de estacionamiento [24].....	36
Figura 2.33: Esquema de frenos simplificado [16].	37
Figura 2.34: Válvula de frenos de resorte SR7 [16].....	38
Figura 2.35: Banco de pruebas de validación de modelo matemático de válvula de pie esquema conceptual (a), Implementación del diseño (b) [4].	39
Figura 2.36: Mesa de pruebas para caracterización de válvula relevadora, mesa de trabajos anteriores (a) [4], mejoras a mesa de pruebas (b) [5].....	40
Figura 2.37: Sistema de caracterización de mangueras [6].....	41
Figura 2.38: Presión vs Tiempo de una línea neumática de 10mm de diámetro en 5 diferentes longitudes [6].....	42

Figura 3.1: Localización de reservas de aire en un camión y área en las que pueden ser desplazadas [27].	45
Figura 3.2: Eje de elevación (Lift Axle) [28].	46
Figura 3.3: Mangueras de tráiler (a), mangueras de tráiler implementadas (b) [29].	47
Figura 3.4: Puntos de ensamble: Válvula de pie (a), Válvula relevadora (b), Válvula moduladora (c).	49
Figura 3.5: Esquema de experimentación para válvulas piloteadas neumáticamente [30].	51
Figura 3.6: Esquema de experimentación para válvulas a través [30].	52
Figura 3.7: Esquema de experimentación para válvulas piloteadas mecánicamente [30].	53
Figura 3.8: Esquema neumático de válvula de accionamiento requerida.	57
Figura 3.9: Terminales tipo tornillo de una tarjeta de adquisición de datos [34].	59
Figura 4.1: tanque de entrega diseñado.	62
Figura 4.2: Componentes del tanque de entrega diseñado.	63
Figura 4.3: Diagrama de conexiones para caracterización de mangueras de Nailon.	64
Figura 4.4: Configuración de caracterización de conectores rectos.	65
Figura 4.5: Configuración de conexiones para caracterización de conectores de 45°	66
Figura 4.6: Configuración de conexiones para caracterización de conectores de 90°	67
Figura 4.7: Configuración de pruebas de la válvula de pie.	68
Figura 4.8: Conectores y mangueras en puertos de válvula de pie para su caracterización.	68
Figura 4.9: Esquema de conexiones de válvula relevadora para su caracterización.	69
Figura 4.10: Conectores y mangueras en puertos de válvula de relevación ATR6 para su caracterización.	70
Figura 4.11: Conectores y mangueras en puertos de válvula de relevación R14 para su caracterización.	70
Figura 4.12: Esquema de conexiones de válvula de liberación rápida para su caracterización.	71
Figura 4.13: Conectores y mangueras en válvula de liberación rápida para su caracterización.	71
Figura 4.14: Esquema de conexiones de válvula de liberación rápida en línea para su caracterización.	72
Figura 4.15: Conectores y mangueras en válvula de liberación rápida en línea para su caracterización.	73
Figura 4.16: Esquema de conexiones de válvula de control de frenos de estacionamiento para su caracterización.	73
Figura 4.17: Conectores y mangueras en válvula de control de frenos de estacionamiento para su caracterización.	74
Figura 4.18: Esquema de conexiones de válvula SR-7 para su caracterización.	75
Figura 4.19: Conectores y mangueras en válvula SR-7 para su caracterización.	75
Figura 4.20: Esquema de conexiones de válvula R-7 para su caracterización.	76
Figura 4.21: Conectores y mangueras en válvula R-7 para su caracterización.	76
Figura 4.22: Esquema de conexiones de válvula solenoide para su caracterización.	77
Figura 4.23: Conectores y mangueras en válvula solenoide para su caracterización.	77
Figura 4.24: Esquema de conexiones de válvula TP5 para su caracterización.	78
Figura 4.25: Conectores y mangueras en válvula TP5 para su caracterización.	79

Figura 4.26: Vista Isométrica del Módulo 1 de la Mesa de Pruebas.....	83
Figura 4.27: Vista Lateral de Modulo 1 de la mesa de pruebas.....	83
Figura 4.28. Vista isométrica del módulo 2 de la mesa de pruebas.....	84
Figura 4.29: Placa para montura de Válvulas.....	85
Figura 4.30: Bracket para montaje de válvulas.....	85
Figura 4.31: Puntos de ensamble para Bracket de Válvulas.....	86
Figura 4.32: Montura de Válvula Relay en Modulo 2 de banco de Pruebas.....	86
Figura 4.33: Ensamble de Válvula de Frenos de Estacionamiento en Modulo 2.....	87
Figura 4.34: Área Designada para Ensamble de válvula de pie dentro del módulo 2.....	88
Figura 4.35: Válvula de pie ensamblada en el área destinada dentro del módulo 2 de la mesa de pruebas.....	88
Figura 4.36: Tanques de entrega montados en mesa de pruebas.....	89
Figura 4.37: Puntos de montura adicionales para montaje de tanques de entrega.....	89
Figura 4.38: Módulos diseñados para la mesa de pruebas.....	90
Figura 4.39: Estructura de un sistema de adquisición de datos [36].....	91
Figura 4.40: Esquema de conexiones del sensor a utilizar.....	92
Figura 4.41: Arquitectura de sistema multiplexado [39].....	93
Figura 4.42: Esquema de comportamiento de sistema multiplexado [39].....	93
Figura 4.43: Arquitectura de sistema simultaneo [39].....	94
Figura 4.44: Esquema de comportamiento de sistema simultaneo [39].....	94
Figura 4.45: Comparación de un sistema DAQ con resolución de 16-bits contra un sistema DAQ de 3-bits [38].....	96
Figura 4.46: Estructura de paquete DAQmx [40].....	97
Figura 4.47: Bloques utilizados en paquete DAQmx, dentro del entorno de programación de LabVIEW ® [40].....	98
Figura 4.48: Diagrama de flujo de aplicación de adquisición de datos.....	99
Figura 4.49: Panel frontal de aplicación de adquisición de datos.....	101
Figura 4.50: Calibración de sensores.....	102
Figura 4.51: Etapa de Calibración en Panel frontal.....	102
Figura 4.52: Diagrama de flujo de etapa de medición.....	104
Figura 5.1: Diseño Final de mesa de pruebas.....	108

Lista de Tablas

Tabla 1.1. Regulaciones de tránsito de vehículos en diferentes países [8].	6
Tabla 2.1: Diámetros de Mangueras de Nailon.	28
Tabla 2.2: Dimensiones de estándar de roscas NPT [19].	31
Tabla 3.1: Secciones del sistema de frenos.	48
Tabla 3.2: Tipo de flujo compresible en función del numero de Mach [31].	55
Tabla 3.3: Configuraciones y combinaciones para caracterización de componentes del sistema de frenos.	56
Tabla 3.4: Especificaciones de volumen para el tanque de entrega a diseñar.	57
Tabla 3.5: Requerimientos de tarjeta de adquisición de datos.	58
Tabla 3.6: Características de computadora a utilizar.	59
Tabla 4.1: Capacidades de tanque de entrega.	62
Tabla 4.2: Diámetros de mangueras de Nailon a caracterizar.	64
Tabla 4.3: Diámetros y longitudes de mangueras de caucho a caracterizar.	65
Tabla 4.4: Categorías de válvulas a analizar.	80
Tabla 4.5: Especificaciones técnicas de sensor de presión a utilizar.	91
Tabla 4.6: Especificaciones del sensor a utilizar.	92
Tabla 4.7: Exactitud Absoluta [38].	95
Tabla 5.1: Costos por protocolo de pruebas.	107
Tabla 5.2: Costos de mesa de pruebas.	108
Tabla 5.3: Características y requerimientos de aplicacion de adquisicion de datos.	109
Tabla 5.4: Componentes para aplicación de datos y costos.	109

Nomenclatura y Abreviaciones

- *psi*: pund square inch (libras sobre pulgada cuadrada)
- *V*: Volts (Voltaje)
- *In*: inches (pulgadas)
- *Lb*: libras
- *Mph*: miles per hour (millas por hora)
- *Kb*: Kilobits
- *Gb*: GigaBits
- *Hz*: Hertz
- *KHz*: Kilo Hertz
- *GHz*: Giga Hertz
- *S/s*: Samples Per Second (Muestras Por Segundo)
- *ATR6*: Antilock Traction Relay Valve (Válvula Relevadora de Antibloqueo)
- *QRV*: Quick Release Valve (Válvula de Liberación Rápida)
- *TP5*: Trailer Protección Valve (Válvula de Protección de Tráiler)
- *SR7*: Spring Valve (Válvula de Frenos de Resorte)
- *NTP*: National Pipe Thread (Rosca Nacional de Tubos)
- *NPTF*: National Pipe Taper Fuel (Rosca Nacional Cónica para Tubos)
- *PTC*: Push To Connect (Conexión Rápida)
- *PTR*: Perfil Tubular Rectangular
- *DAQ*: Data Adquisición (Adquisición de Datos)
- *LED*: Light Emiting Diode (Diodo Emisor De Luz)
- *ABS*: AntiLock Brake Sistema (Sistema de Frenado Antibloqueo)
- *FMVSS*: Federal Motor Vehicule Safety Standard

Resumen

Recientemente la industria automotriz enfocada en el sector de vehículos pesados la cual incluye el diseño y fabricación de camiones, tractocamiones y autobuses, ha tenido grandes avances tecnológicos en los diferentes sistemas que involucra alguno de los vehículos. Como por ejemplo se han desarrollado tecnologías para cargar más peso en la parte trasera del vehículo, se han desarrollado vehículos pesados con distancias entre ejes más largas, para que el cliente pueda tener un mayor volumen de carga a transportar, se han desarrollado suspensiones y chasis que soportan mayores esfuerzos y vibraciones más violentas. Al desarrollar estas nuevas tecnologías diversos sistemas de un vehículo pesado se ven afectadas en cuanto a diseño, sistema de gasolina, sistema eléctrico, pero específicamente el sistema de frenado, ya que este funciona mediante aire comprimido. Este sistema es afectado de diversas maneras, dependiendo del diseño del camión o tecnología a implementar, por ejemplo: al tener una suspensión más robusta las válvulas que controlan el flujo de aire son reubicadas o se agregan componentes para el ruteo de mangueras, al tener una distancia entre ejes más larga, las mangueras que van de las reservas de alimentación hacia las cámaras de frenado se incrementan. Por consiguiente, es necesaria la validación física del diseño del sistema de frenado en sus etapas de aplicación y liberación, esta validación debe ser aprobada por regulaciones automotrices de la región donde valla a circular el vehiculó, las cuales dictan los tiempos de respuesta y aplicación de las cámaras de frenado. Si la norma no es aprobada la empresa NAVISTAR se ve comprometida en cuanto a tiempos de entrega, estos retrasos dependen del tiempo que les tome a los ingenieros de diseño en realizar ajustes del sistema de frenado. Por consecuencia es necesaria una caracterización de los componentes que integran el sistema de frenado lo que ayudara comprender más a fondo el funcionamiento del sistema, las diversas variables que afectan los tiempos de respuesta y aplicación del sistema, y lo más importante entrega de unidades a tiempo.

Para este trabajo de investigación se realizó un levantamiento de los componentes del sistema de frenado de vehículos pesados, para cada uno se realizó un protocolo de experimentación, tomando en cuenta la documentación disponible que existe al respecto, tales como: datos del fabricante, estándares de pruebas y configuraciones en las que la empresa NAVISTAR utiliza estos componentes. Posteriormente para llevar a cabo estos experimentos se realizó el diseño de una mesa de pruebas donde se llevarán a cabo estas experimentaciones. También se desarrolló una aplicación de adquisición de datos la cual permita obtener gráficas de presión contra tiempo dependiendo del componente que se vaya a analizar. Al final se presentó esta propuesta a la empresa NAVISTAR junto con un estimado de la inversión necesaria para implementar los entregables.

Dentro de los ventajas e impactos que esta investigación trajo consigo se puede mencionar: capacitación, y entendimiento del sistema de frenado para el personal de la empresa, reducción en el tiempo de diseño del sistema de frenos por unidad, (los cuales pueden tomar alrededor de 2 semanas), eliminar multas/garantías por el no cumplimiento a la norma Federal Motor Vehicle Safety Standard 121 (por sus siglas en

inglés, FMVSS121), esto provoca que la empresa pierda el valor comercial del camión inicialmente vendido.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explica la problemática que dio origen a este trabajo de investigación, el cual es la desaprobación de la norma Federal Motor Vehicle Safety Standard 121 (FMVSS121) del sistema de frenado de los camiones fabricados en la empresa NAVISTAR México. Lo cual causa un incremento en el tiempo dedicado a la ingeniería del sistema de frenado, que suele durar semanas. Por consiguiente, para el problema definido se propuso el diseñar experimentos de pruebas para los componentes que integran el sistema de frenado de un vehículo pesado. Llevar a cabo el diseño de un banco de pruebas, en la cual se planea llevar a cabo los experimentos propuestos. Por último, desarrollar una aplicación de adquisición de datos para la obtención de curvas de presión neumática contra tiempo, desarrollado dentro del entorno de programación de LabVIEW.

Este capítulo describe de manera general el funcionamiento del sistema de frenado de un vehículo pesado, la norma FMVSS 121 y cómo esta influye en el diseño de un sistema de frenado para vehículos pesados. Se define el alcance de este proyecto, seguido de la hipótesis, justificación, y, por último, se explica la estructura de esta tesis.

1.1. Planteamiento del problema: sistema de frenos para vehículos pesados.

Dependiendo del país donde circule un vehículo pesado son las regulaciones que aplican para que este pueda circular de manera legal. Específicamente para el sistema de frenado de vehículos pesados que transitan dentro de los Estados Unidos, aplica la regulación FMVSS121. La cual establece los tiempos de respuesta y aplicación en las cámaras de frenado de un vehículo pesado, estas cámaras funcionan mediante presión neumática:

1. Tiempo de respuesta: Con una presión inicial en los tanques de 100 *psi* se requiere que la presión en las cámaras de frenos de servicio debe de ir de 0 a 60 *psi* en no menos de 0.450s desde el primero movimiento del pedal.
2. Tiempo de Liberación: Con una presión inicial de 95 *psi* en las cámaras de frenos de servicio, se requiere que la presión en las mismas disminuya de 95 a 5 *psi* en no menos de 0.550s al primer movimiento del pedal.

Para cumplir con los requerimientos mencionados anteriormente, es necesario un diseño correcto del sistema. En la etapa de diseño del sistema de frenos, los ingenieros organizan dichos componentes por medio de un software CAD, con el objetivo de cumplir las diferentes configuraciones del sistema de frenado (Figura 1.1), dichas configuraciones dependen del tipo de vehículo en el que va a ser implementado el sistema de frenos. El funcionamiento de estas configuraciones se explica a detalle en el apartado 2.2.1 de este documento.

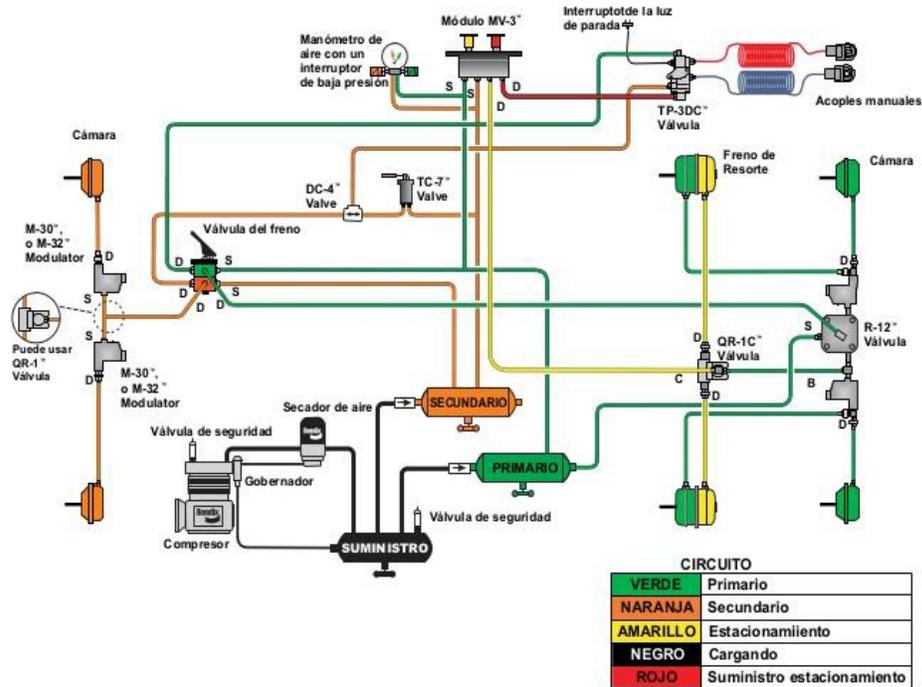


Figura 1.1: Esquemático de la configuración básica del sistema de frenos [1]

En el caso particular de los vehículos de la empresa NAVISTAR, la evaluación con respecto a la norma FMVSS del sistema de frenado se realiza en el vehículo ensamblado, y no durante la etapa de diseño, causando altos costos y retrasos en la producción. Por eso es de gran importancia el desarrollar una metodología para la caracterización del sistema de frenado, que pueda ser representado mediante un modelo matemático/numérico o guía de diseño. Esto permitirá tomar decisiones durante la etapa de diseño, ya que se determinarán los tiempos de respuesta y liberación de los componentes del sistema dependiendo de las siguientes características:

1. Posicionamiento y modelo de los componentes en el vehículo (válvulas, reservas, válvulas de escape).
2. Dimensiones y tipo de uniones que unen los componentes mencionados en el punto anterior.
 - a) Dimensiones de mangueras:
 - Longitud del Wheel base del vehículo, (distancia entre eje delantero y trasero del vehículo) [2].
 - Diámetro de mangueras y el material de fabricación.
 - b) Tipo de conectores: codo de 90, codo de 45, unión en T, etc.

Al tener en cuenta el cómo se ve afectado el tiempo de respuesta y aplicación por las variables antes mencionadas, la empresa tendrá la ventaja de poder realizar entrega de sus unidades sin retrasos. Además, de evitar el riesgo de efectuar un llamado de unidades por fallas en el sistema de freno, este evento ocurre cuando los fabricantes de automóviles notifican a sus usuarios para que ellos lleven su vehículo a realizarle una reparación de vital importancia [3].

Recientemente se han realizado varios trabajos de investigación a este respecto [3], [4] y [5]. Los cuales se centran en la medición de manera aislada de componentes que integran el sistema de frenos en las etapas de aplicación y liberación. Esto lo hacen implementando una mesa de pruebas y mediante el desarrollo de un sistema de adquisición de datos.

Los autores [4] y [5] realizaron caracterizaciones y modelaciones matemáticas de una válvula de pie y válvula relevadora respectivamente, donde se diseñó una mesa de pruebas y también un sistema de adquisición de datos.

Otros autores [6] desarrollaron la caracterización de mangueras de Nailon utilizadas en el sistema de frenado. Se realizaron pruebas físicas con varios diámetros de mangueras y longitudes, para así llegar a una formula empírica de su comportamiento. A partir de la identificación de la necesidad industrial por parte de las empresas y el desarrollo de poca investigación a este respecto, se entiende que es necesario el diseño de experimentos y el desarrollo de software y hardware para llegar a una caracterización correcta de los componentes que integran el sistema de frenado, reducir los tiempos de diseño y producción y eliminar garantías o multas.

1.2. Empresa NAVISTAR.

NAVISTAR es una empresa de origen estadounidense, la cual es dueña de la marca de camiones International y ICBus (autobuses escolares). Esta se encarga del diseño y manufactura de ambas divisiones de vehículos además de un departamento de defensa [7]. Dentro de Nuevo León la empresa cuenta con dos instalaciones una en el municipio de Escobedo, donde se manufacturan varios modelos de camiones y una facilidad en el municipio de Apodaca dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), donde se lleva a cabo el diseño de todos los sistemas que integran los diversos modelos de camiones y tractocamiones de la marca International.

1.3. Conceptos básicos en sistemas de frenado en vehículos pesados.

En un vehículo o tracto vehículo, los frenos son los dispositivos encargados de realizar tres funciones básicas [8]:

1. Desacelerar el vehículo: incluyendo detener el vehículo completamente, lo cual implica el cambio de energía cinética en energía térmica.

2. Mantener la velocidad del vehículo durante la operación en una pendiente, ya sea si el vehículo está subiendo o bajando, lo cual implica una transformación de energía potencial en térmica.
3. Mantener un vehículo sin movimiento en una pendiente o en una superficie horizontal.

Estas funciones antes mencionadas se llevan a cabo mediante la aplicación de fuerzas de fricción en los ejes del vehículo, tales tipos de frenos se presentan en la Figura 1.2.



Figura 1.2: Tipos de Frenos [8].

Como se ve en la Figura 1.2, los frenos de tambor y de disco detienen el vehículo mediante la fricción de superficies en contacto.

Para generar fricción entre las superficies de contacto de los frenos mostrados en la Figura 1.2, se utiliza la presión de aire comprimido en lugar de presión de aceite (comúnmente utilizada en automóviles convencionales), debido a la disponibilidad de los recursos contra el tiempo de uso del vehículo. A diferencia de los vehículos ligeros de pasajeros convencionales, los vehículos pesados son utilizados con mayor frecuencia y durante largas horas. Esto conlleva a cambiar constantemente el líquido de frenos, si es que se llegase a utilizar, en cambio al utilizar presión de aire este es obtenido del medio ambiente [9].

Como se mencionó en el párrafo anterior, la ventaja de utilizar aire comprimido en el sistema de frenado de un vehículo, al mismo tiempo conlleva sus desventajas en contra del uso del aceite, ya que el sistema de frenado mediante el uso de aire comprimido conlleva un tiempo de respuesta mayor [10]. En consecuencia, siempre ha sido de vital importancia para los ingenieros de diseño automotriz, asegurar el funcionamiento y accionamiento del sistema de frenado en vehículos pesados de forma correcta. De esta forma se obtiene un funcionamiento adecuado y se reduce la posibilidad de accidentes.

1.3.1. Regulaciones que rigen el sistema de frenos en vehículos pesados

Al ser un sistema de vital importancia para la seguridad, se encuentran varias regulaciones, (Tabla 1.1), las cuales demandan ciertas características en el desempeño del vehículo de acuerdo con la región donde circularán.

Tabla 1.1. Regulaciones de tránsito de vehículos en diferentes países [8].

Regulaciones del Sistema de frenos	País
Federal Motor Safety Standard 121 (FMVSS 121)	USA
Australian Design Rule (ADR 35)	Australia
South African Boreu Of Standards 1207 (SABS 1207)	Sudáfrica
2006/32015	Nueva Zelanda
Indian Standard 11852 (IS 11852)	India

Estas regulaciones establecen demandas como: la cantidad de ruido emitido al medio ambiente, estabilidad del vehículo, dimensionamiento, emisiones de CO_2 , etc. Para este proyecto las regulaciones de interés tienen que ver con los tiempos de respuesta y liberación en el sistema de frenado, los cuales se definen a continuación, según la norma FMVSS 121 [11]:

3. Tiempo de respuesta: Con una presión inicial en los tanques de 100 *psi* se requiere que la presión en las cámaras de frenos de servicio debe de ir de 0 a 60 *psi* en no menos de 0.450s desde el primero movimiento del pedal.
4. Tiempo de Liberación: Con una presión inicial de 95 *psi* en las cámaras de frenos de servicio, se requiere que la presión en las mismas disminuya de 95 a 5 *psi* en no menos de 0.550s al primer movimiento del pedal.

Este trabajo se basa únicamente en la regulación FMVSS 121, debido a que esta es la más estricta en cuanto a sus regulaciones en tiempos de accionamiento y liberación del sistema de frenos. Por consecuencia, si se cumplen los tiempos establecidos para la FMVSS 121 se cumplirán así para todas las regulaciones.

1.4. Hipótesis

Es posible desarrollar una metodología de caracterización de los componentes neumáticos que comprenden el sistema de frenado de vehículos pesados mediante, el diseño de experimentos de pruebas para los componentes que integran el sistema de frenado de vehículos pesados, tales como válvulas, mangueras y conectores. El diseño de una mesa de pruebas para montaje de dichos experimentos, y, por último, el desarrollo de una aplicación de adquisición de datos para la obtención de curvas de presión contra tiempo. Esta metodología de caracterización servirá para

1. Un punto de partida para la predicción u obtención de un modelo matemático que llegue a predecir el tiempo de respuesta en las cámaras de frenos de un vehículo pesado para un diseño dado.

1.5. Objetivo General

Establecer una metodología para la caracterización y optimización del sistema de frenado diseñado para vehículos pesados de la empresa NAVISTAR México mediante, el diseño de experimentos de pruebas para cada uno de los componentes que integran el sistema de frenado, el diseño de una mesa de pruebas y el desarrollo de una aplicación de adquisición de datos. Esto es con la finalidad de encontrar las variables que más influyen, en las respuestas de aplicación y liberación en las cámaras de frenado de un vehículo:

1. Diámetros de mangueras.
2. Longitudes de mangueras.
3. Diferentes números de parte en válvulas.
4. Conectores.

1.5.1. Objetivos Específicos

1. Diseño de experimentos para la medición de presión, de manera aislada, en los puertos de alimentación y entrega de los componentes que integran el sistema de frenado de los camiones fabricados por NAVISTAR, considerando sus configuraciones en las que son implementadas en el sistema de frenos.
 - a) Mangueras de Nailon y Caucho.
 - b) Conectores.
 - c) Válvulas.

Dentro de estos experimentos se realizará un levantamiento de los números de parte a analizar, sincretizando los componentes vigentes para su utilización en el sistema de frenos.

2. Diseño de una mesa de pruebas, donde se pueda desarrollar los experimentos propuestos, y también implementar un sistema de frenos simple. El diseño de dicha mesa de pruebas debe estar acotado al espacio disponible dentro de la empresa NAVISTAR.
3. Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos, para la obtención de gráficas de presión vs tiempo en los puertos de entrada y salida de los componentes definidos a analizar.
4. Llevar a cabo una validación de los entregables propuestos, experimentos propuestos, diseño de la mesa de pruebas y el sistema de adquisición de datos.

1.6. Justificación

Al no cumplir con los tiempos de aplicación y liberación en el sistema de frenado especificados por las normas, la empresa se encuentra con las siguientes problemáticas:

1. Tiempos mayores de implementación en cambios de ingeniería.
2. Cambios en ingeniería con un grado de incertidumbre que potencialmente requieran actualización, esto quiere decir implementación de diferentes configuraciones previamente establecidas de los diversos componentes que intervienen en el sistema de frenos (diámetros de mangueras en puertos de entrada y salida).
3. Retraso en el ciclo de entrega de unidades de producción que requieran pruebas de Frenos.

Al desarrollar la metodología de caracterización de este proyecto se pretenden prevenir problemas con el aseguramiento de los tiempos de aplicación y liberación del sistema de frenos de camiones y tracto camiones fabricados en la empresa NAVISTAR México, optimizando los tiempos de diseño y validación de dichos sistemas, estos tiempos son establecidos por la norma FMVSS 121. Los alcances de esta metodología para caracterización desarrollada en este proyecto serán útiles para la comprensión de cómo se ven afectados los tiempos de respuesta y liberación en las cámaras de frenos dependiendo de los modelos de válvulas, dimensiones de conectores y mangueras. Los resultados deben garantizar una disminución en la incertidumbre de si se cumplirán o no los tiempos de aplicación y liberación establecidos por la norma FMVSS 121, también

deberá hacerse una diferenciación entre la eficiencia de modelos de componentes en el sistema de freno. Además, este trabajo podrá utilizarse como punto de partida para establecer un modelo matemático que logre predecir los tiempos de respuesta en aplicación y liberación para un cualquier sistema de frenos.

1.7. Estructura de la Tesis

Esta tesis se organiza de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se da una descripción al problema, se define la hipótesis, objetivo general, objetivos específicos y la justificación de este trabajo de investigación.

Dentro del capítulo 2 se presenta el estado del arte del sistema de frenos utilizado en vehículos pesados, a partir de una descripción detallada de cada componente que lo integra junto con el funcionamiento del sistema, además de una descripción de los puntos importantes de la norma FMVSS 121, y trabajos similares a este. En el capítulo 3, se muestran y analizan casos de estudio en los que se muestra la necesidad de realizar una caracterización del sistema de frenado.

Posteriormente, en el capítulo 4 se propone una metodología de caracterización junto con la descripción del desarrollo de esta, la cual se divide en tres partes: Diseño de experimentos de pruebas (4.2.1), Diseño de una mesa de pruebas (4.2.2) y el diseño de un sistema de adquisición de datos (4.2.3).

En el capítulo 5 se describe la metodología empleada para la validación de dicha propuesta de caracterización.

Para finalizar en el capítulo 6 se describen las conclusiones de este trabajo de investigación y la propuesta de un trabajo a futuro.

CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE

Dentro de este capítulo se presenta un estado del arte acerca del sistema de frenado usado en vehículos pesados, primero, se da una introducción a la composición del sistema de frenado. Seguido de una definición y descripción detallada del funcionamiento de los componentes que integran el sistema, tales como válvulas, mangueras y conectores, así como también estándares que rigen su fabricación. Al entender el funcionamiento aislado de los componentes del sistema se da una descripción detallada del funcionamiento del sistema de frenado (modos de operación). Seguido de la descripción detallada de la norma FMVSS 121, el principal origen de esta tesis, y como se valen los fabricantes de vehículos pesados para que sus camiones aprueben la norma u otra, si es que se encuentran en otro país. Posteriormente se enumeran y revisan trabajos similares al objetivo de esta tesis y los cuales sirvieron como referencia para completar los objetivos del trabajo.

2.1. Introducción.

Antes de diseñar una metodología de caracterización del sistema de frenado de vehículos pesados es necesario el entender el funcionamiento del sistema. Dentro de este capítulo se inicia con una explicación de la estructura del sistema de frenado en vehículos pesados de manera general. Posteriormente se explica el funcionamiento de cada uno de los componentes que integran el sistema de frenos de vehículos pesados: válvulas, mangueras y conectores, mediante la revisión y análisis de literatura proporcionada por los fabricantes de estos componentes. Es de vital importancia el comprender su funcionamiento para entender la operación correcta del sistema de frenos, en el apartado siguiente se explica dicho funcionamiento dividiéndolo en 4 modos de operación: frenos de servicio, frenos de emergencia y se explica el funcionamiento de frenado compuesto. Enseguida se definen los puntos clave de la norma FMVSS 121. Al finalizar este capítulo, se analizan trabajos similares a este [4] [6] [5], donde los autores se encargan de la caracterización o modelado de componentes del sistema de frenos de manera aislada. Estos trabajos detallan la fabricación de sus sistemas de medición, banco de pruebas y configuraciones en las que fueron analizados los componentes en cuestión.

2.2. Sistema de Frenado de Vehículos Pesados

La configuración de un sistema de frenado neumático que es utilizado en vehículos pesados y tracto camiones se muestra en la Figura 1.1.

El sistema se encuentra alimentado por medio de un compresor de aire, el cual suministra aire a las reservas de los circuitos primario (frenos traseros) y secundario (frenos delanteros). Al presionar el pedal de freno, ocurren los siguientes eventos:

1. Al pisar el pedal del freno el cual esta acoplado a la llamada “válvula de pie”, se permitirá el flujo de aire hacia las cámaras de frenos.
2. Al momento en que las cámaras de frenos comienzan a aumentar su presión interna, deformarán un diafragma interno causando el movimiento de los vástagos que se encuentran acoplados mecánicamente a las superficies de contacto con el tambor de frenos, ocasionando el frenado del vehículo.
3. Al dejar de presionar el pedal de la válvula de pie, se cerrarán los suministros de aire de las cámaras de frenos y se abrirá el puerto de escape de la válvula de pie.
4. La pérdida de presión en las cámaras de frenos permitirá que los vástagos se retraigan a su posición original generando la liberación de los frenos en las ruedas.

2.2.1. Descripción de los componentes del Sistema de Frenado de Vehículos Pesados.

El sistema de frenado neumático consta de varios componentes, es importante comprender su funcionamiento individual antes de comenzar a explicar su funcionamiento en conjunto para generar la acción de frenado en un vehículo pesado. A

continuación, se describe la forma de operación de los componentes que integran el sistema de frenado de vehículos pesados de forma individual.

2.2.1.1. Compresor de Aire.

Este se encarga de comprimir el aire del medio ambiente y entregarlo a las reservas del sistema. El compresor es impulsado por el motor del vehículo, mediante engranes o poleas. A continuación, se describe la operación de las dos etapas que componen al compresor [1]:

1. **Etapa de admisión:** el movimiento de un pistón interno en el compresor, como se aprecia en la Figura 2.1, crea un vacío entre el pistón y el cilindro. Dicho vacío ocasiona que la válvula de admisión del compresor se abra permitiendo que el aire del ambiente entre al cilindro.

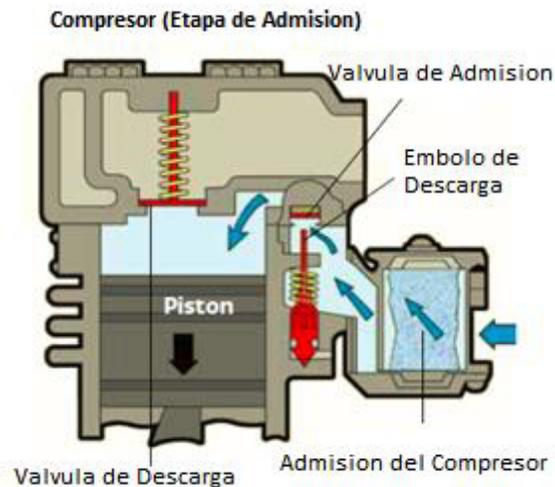


Figura 2.1: Etapa de Admisión de un compresor de aire [1].

2. **Etapa de Compresión:** En esta etapa el pistón se moverá hacia arriba, lo que causará que el aire en el cilindro se comprima. Este aumento de presión de aire en el cilindro ocasionará que la válvula de descarga se abra, tal y como se aprecia en la Figura 2.2, al abrirse la válvula de descarga el aire entrará a los tanques de las reservas del sistema de frenos. La etapa de compresión junto a la etapa de admisión se alterna llenando las reservas del sistema.

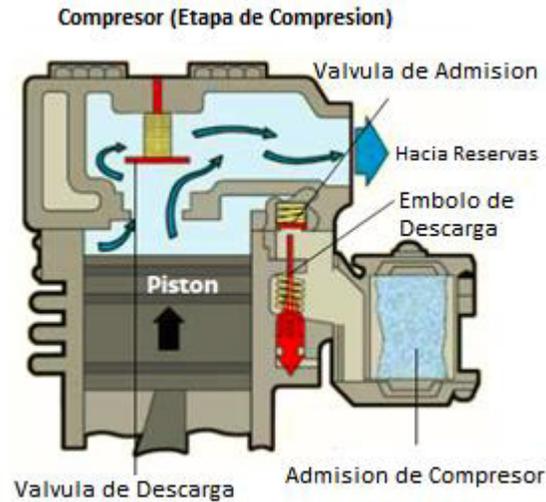


Figura 2.2: Etapa de Compresión de un compresor de aire [1].

2.2.1.2. Secador de Aire.

Consiste en un cartucho desecante en una base de aluminio, cuya función es remover contaminantes sólidos, líquidos y vapor del aire antes de que llegue al sistema.



Figura 2.3: Secador de Aire [1].

2.2.1.3. Gobernador.

Este componente, el cual se aprecia en la Figura 2.4, se conecta en serie con el compresor de aire y reserva húmeda del sistema, para hacer su función principal de mantener la presión en la reserva húmeda en un rango constante. Si este alcanza el límite máximo el aire suministrado saldrá por sus puertos de descarga.



Figura 2.4: Gobernador de aire [1].

2.2.1.4. Tanques de Reservas de Aire.

Estos tanques, almacenan el aire después de haber pasado por el compresor y secador de aire, la selección del tamaño del tanque, que por ende se ve reflejado en la capacidad de dicho tanque dependerá de las restricciones de diseño del vehículo.



Figura 2.5: Tanque de Reserva de Aire [1].

2.2.1.5. Válvula de control de frenos de servicio (Válvula de Pie).

Esta es una válvula de control, llamada técnicamente como “Válvula de Pie”, regula el aire que llega a las cámaras de frenado de los circuitos primario y secundario. Para controlar el aire de dichas cámaras consta de dos circuitos separados de suministro y entrega, lo que le da al conductor un control graduado a los frenos del vehículo.

2.2.1.6. Válvula de Control de Frenos de Estacionamiento.

Esta es una válvula de control de tipo botón, la cual le proporciona al conductor un control en la cabina para aplicar y soltar los frenos de estacionamiento, como se observa en la Figura 2.6. Al tener la posición del botón hacia arriba, ocasionará que la válvula de escape se abra, haciendo escapar el aire de la línea de entrega a las cámaras de frenos de estacionamiento. Esto causará que los frenos de estacionamiento se apliquen, más adelante en este trabajo se explicará por qué se aplican.

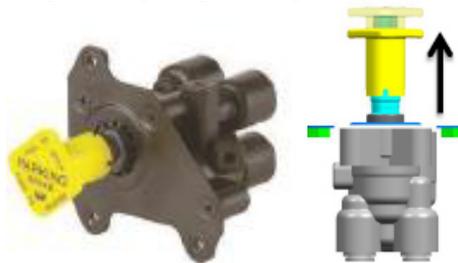


Figura 2.8: Válvula de frenos de estacionamiento [1].

Al tener el botón presionado (Botón Abajo), este cerrará el escape de la válvula y abrirá el puerto de entrada, permitiendo el aire fluir a las cámaras de frenos de estacionamiento, lo que causará que estos se liberen, permitiendo que el vehículo se mueva.

Algunas válvulas de frenos de estacionamiento tienen integrado un botón extra de color rojo como se muestra en la Figura 2.9, el cual tiene la funcionalidad de controlar los frenos de estacionamiento para la caja que se monta en un tracto camión.



Figura 2.9: Válvula de freno de estacionamiento con botón para frenos de estacionamiento de tractor [1].

2.2.1.7. Válvula Relevadora.

Mostrada en la Figura 2.10. Esta válvula funciona como una estación de relevo, la cual incrementa la velocidad de aplicación y liberación de frenos de servicio traseros. Es remotamente controlada por la válvula de pie u otra fuente.



Figura 2.10: Válvula Relevadora [12].

Esta válvula cuenta con un puerto de control conectado al puerto de entrega del circuito primario de la válvula de pie. La implementación de este puerto de control es debido a que la distancia que hay entre la reserva primaria hasta las cámaras de frenos traseros es muy grande y por ende el tiempo de respuesta es mucho mayor aumentando el riesgo de accidentes. El puerto de control actúa como on/off ocasionando una apertura de los puertos de entrada y entrega de la válvula relevadora los cuales tienen un diámetro mayor y están conectados directamente a la reserva primaria. A continuación, se explican las etapas del funcionamiento de la válvula relevadora, esta actúa en tres etapas [5]:

1. Aplicación

La presión de aire entregada en el puerto de control permite cerrar el escape y abrir los puertos de entrada y salida, permitiendo aire de los tanques entrar hacia las cámaras de frenos, ver en la Figura 2.11.

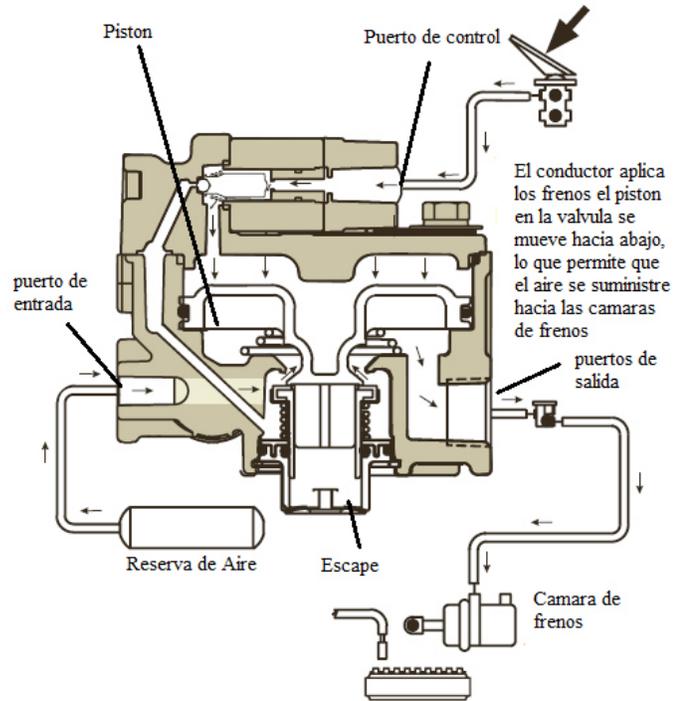


Figura 2.11: Válvula relevadora en etapa de aplicación [13].

2. Balance

Como se aprecia en la Figura 2.12, la presión en el puerto de salida se vuelve también efectiva debajo del pistón, cuando esta presión sea igual a la presión encima del mismo, se cerrarán los puertos de entrada y escape, manteniendo así la presión dentro de las líneas y cámaras de frenos.

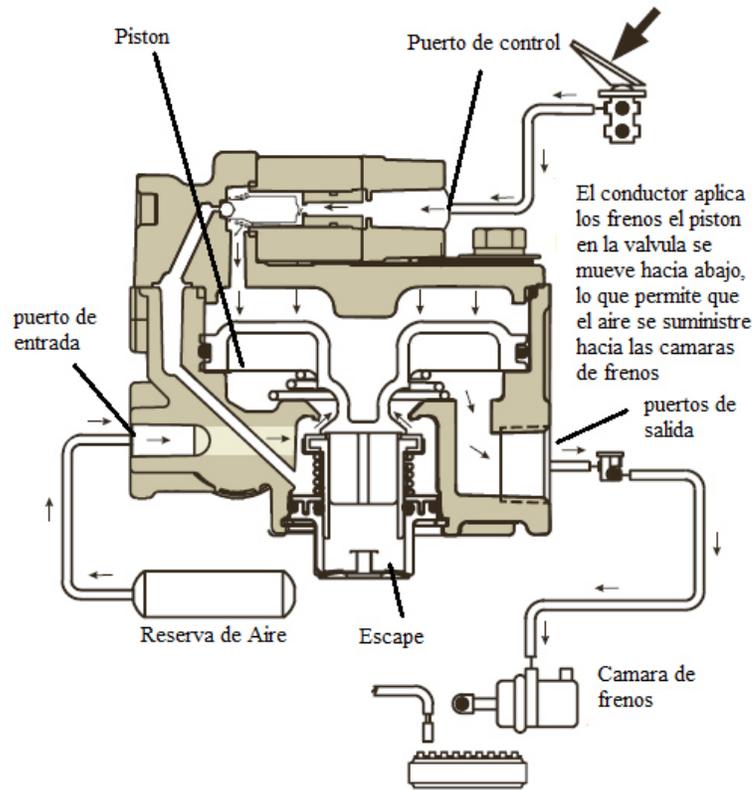


Figura 2.12: Válvula relevadora en etapa de balance [13].

3. Liberación

Al disminuir la presión en el puerto de control de la válvula relevadora, su pistón se retraerá. Simultáneamente se abrirá su puerto de escape para purgar el aire dentro de las líneas neumáticas de sus puertos de salida.

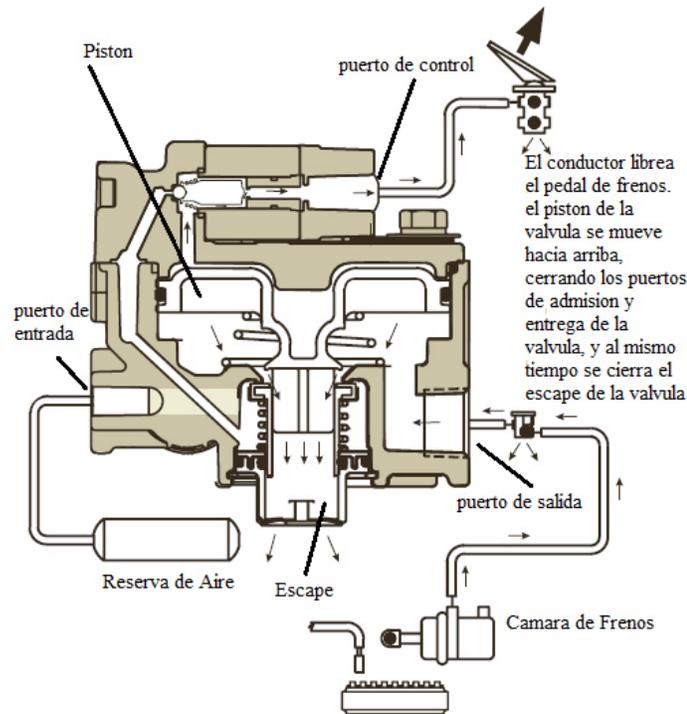


Figura 2.13: Válvula relevadora en etapa de liberación [13].

Un aspecto importante que mencionar acerca de este tipo de válvulas, es la presión de accionamiento (Crack Pressure). Definida como la presión necesaria en su puerto de control para que la válvula comience a abrir sus puertos de entrada y salida [14]. Esta es una de las principales diferencias entre las válvulas relevadoras, ya que comúnmente estas tienen una presión de accionamiento de entre 2 a 4 *psi* [15]. Sin embargo, puede generarse el caso especial en el cual algunas salgan de ese rango tales como la válvula R-8 [15].

Existen varios tipos de modelos, enumerados a continuación junto con especificaciones con las que cuentan cada modelo, dichas válvulas son manufacturadas por la marca Bendix ®.

a) Válvula relevadora modelo R14

Esta válvula relevadora, mostrada en la Figura 2.14, es muy utilizada de su tipo, debido a que tiene integrado un sistema de escape rápido. Este es activado cuando la válvula se encuentra en la etapa de liberación, a su vez contiene un sistema que evite el frenado compuesto. El frenado compuesto se define como: la combinación de dos fuerzas: la fuerza aplicada por los frenos de servicio y los frenos de estacionamiento. Este fenómeno ocurre cuando ambos modos de operación son activados. Su consecuencia es la fractura del vástago de las cámaras de frenos, debido a la fuerza excesiva [1]. Este fenómeno se revisa en el apartado de Frenado Compuesto (2.2.2.4), ya que es necesario tener el entendimiento de diversos componentes del sistema.



Figura 2.14: Válvula relevadora R14 [12].

b) Válvula relevadora modelo ATR6

Observada en la Figura 2.15 sus siglas en inglés: “Antilock Traction Relay Valve” que en español significa válvula relevadora antibloqueo. contiene las mismas características que la válvula relevadora R14 solo que esta contiene un sistema antibloqueo (ABS). Activado electrónicamente en el puerto de su solenoide, cuando la velocidad de frenado a la cual este transitando el vehículo requiera la activación del sistema ABS para no perder tracción con el terreno.

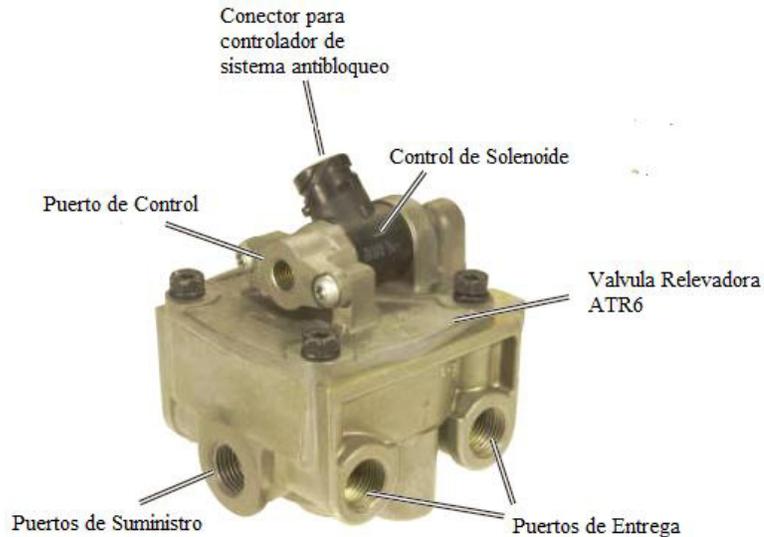


Figura 2.15. Válvula relevadora ATR6 [13].

Cuando se activa el sistema antibloqueo, dentro de la válvula ocurre lo siguiente:

1. A velocidades mayores de 40km/h , el controlador del sistema envía una señal al puerto eléctrico del solenoide de la válvula,

2. El solenoide activa un pistón pequeño el cual evita que el conductor tenga control sobre los frenos, dejando así que el controlador del sistema module la entrada de aire a las cámaras de frenado.
3. Por medio de las válvulas moduladoras mostradas en la Figura 2.16 cada vez que se detecte una pérdida de tracción en las llantas del vehículo, el sistema de control activara las válvulas moduladoras.

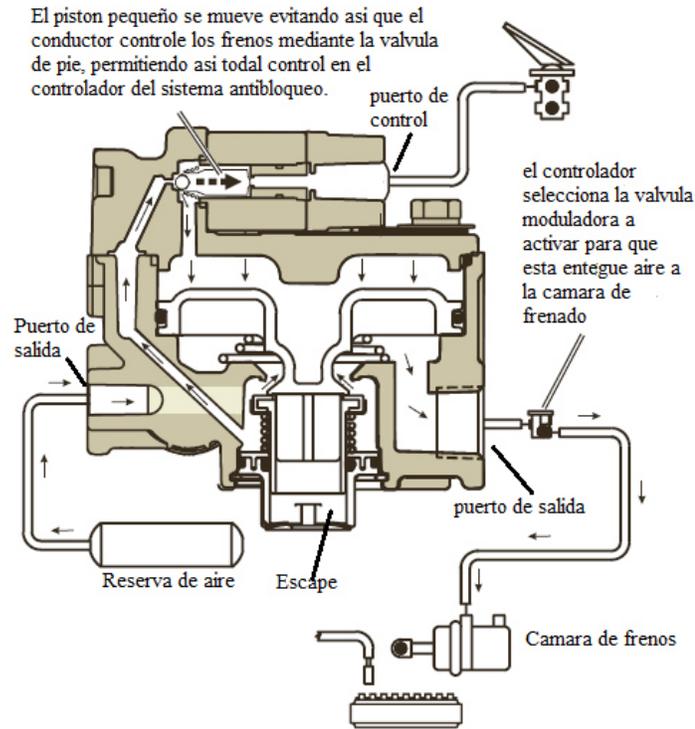


Figura 2.16: Válvula ATR en etapa de operación del sistema antibloqueo (ABS) [13].

2.2.1.8. Válvula de Freno de Resorte

Este tipo de válvula tiene 3 funciones básicas [16]:

1. Provee una aplicación rápida de los actuadores de los frenos De estacionamiento.
2. Modula la presión en las cámaras de frenos de estacionamiento, cuando ocurre una falla en el sistema de frenos, esto detectando bajas en la presión del sistema.
3. Evita el frenado compuesto del sistema de frenos, detectando señales que provienen de la válvula de pie y la válvula de frenos de resorte. dicho concepto se explica en el apartado Frenado Compuesto (2.2.2.4) de este documento.

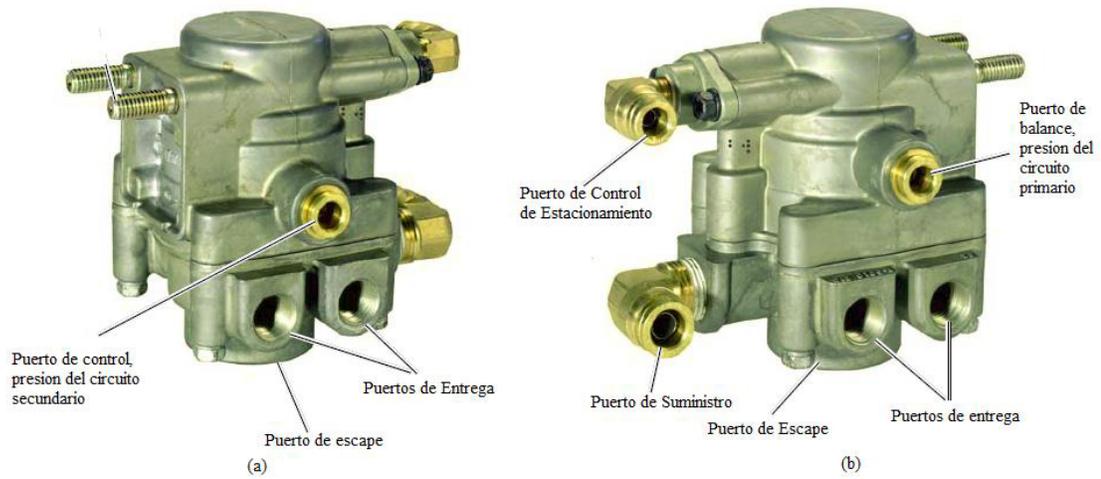


Figura 2.17: Válvula de Freno de Resorte Modelo SR7 [1].

2.2.1.9. Válvula de Liberación Rápida

La función de dicha válvula es la de acelerar la liberación del aire en el sistema cuando este se encuentra en la etapa de liberación, estas son comúnmente conectadas entre la válvula de pie y las cámaras de frenado.



Figura 2.18: Válvula de liberación rápida [1].

Esta funciona bajo 3 modos de operación [10]:

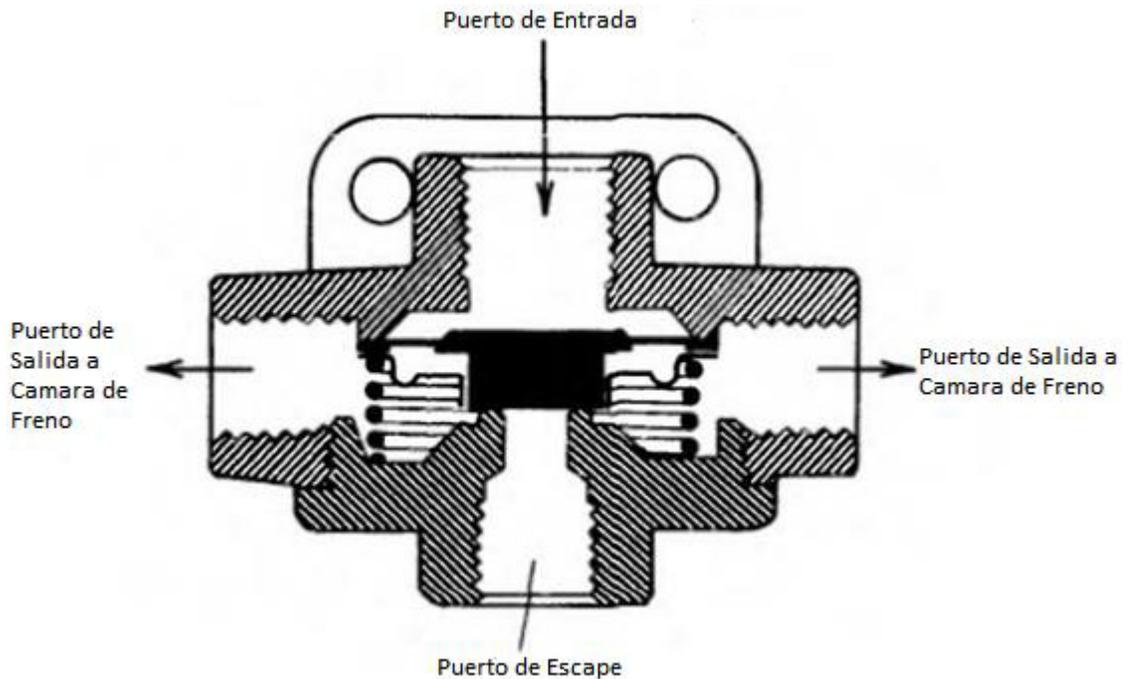


Figura 2.19: Corte transversal de válvula de liberación rápida [10].

1. **Aplicación:** El aire entra por el puerto de suministro y sella el escape empujando un diafragma, a su vez el aire fluye a través de los puertos de entrega (Figura 2.19), cabe mencionar que esta válvula al igual que las válvulas de relevación también cuenta con una presión de accionamiento en su puerto de control.
2. **Balance:** Cuando la presión diferencial en ambos lados del diafragma llega al preestablecido, se obstruyen los puertos de entrega.
3. **Liberación:** Conforme la presión en el puerto de suministro se vea reducida, el diferencial de presión será mayor, de este modo se abre el puerto de escape.

1.1.1.1. Válvula Solenoide

Esta válvula es similar a la válvula de relevación, en cuanto a funcionamiento, debido a que esta es piloteada por medio de una señal eléctrica, para entender su funcionamiento, hay que referirse a la Figura 2.20.

1. Cuando una señal eléctrica es suministrada en su puerto eléctrico, un solenoide activará los mecanismos internos de la válvula para que esta cambie de posición y redirija el flujo en los puertos de ella.
2. Al retirar la alimentación de energía eléctrica del solenoide de la válvula, esta pasará a su posición original, cerrando su puerto de entrada y abriendo su puerto de salida.

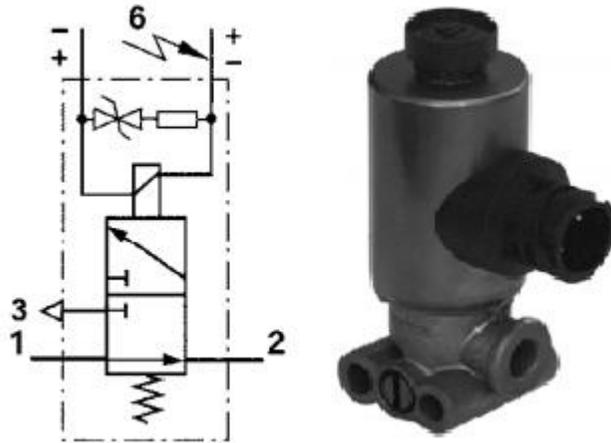


Figura 2.20: Válvula Solenoide [17].

2.2.1.10. Válvula de protección de tráiler (TP5).

La función de esta válvula es de recibir todas las señales provenientes del sistema de frenos del camión y dichas señales enviarlas al tráiler, para que se activen sus cámaras de frenos cuando el pedal sea activado o también los frenos de estacionamiento, también otra de sus funciones es el de proteger el suministro de aire del camión en caso de que el tráiler sea separado del camión o tenga alguna fuga, dicha válvula se puede observar en la Figura 2.21.

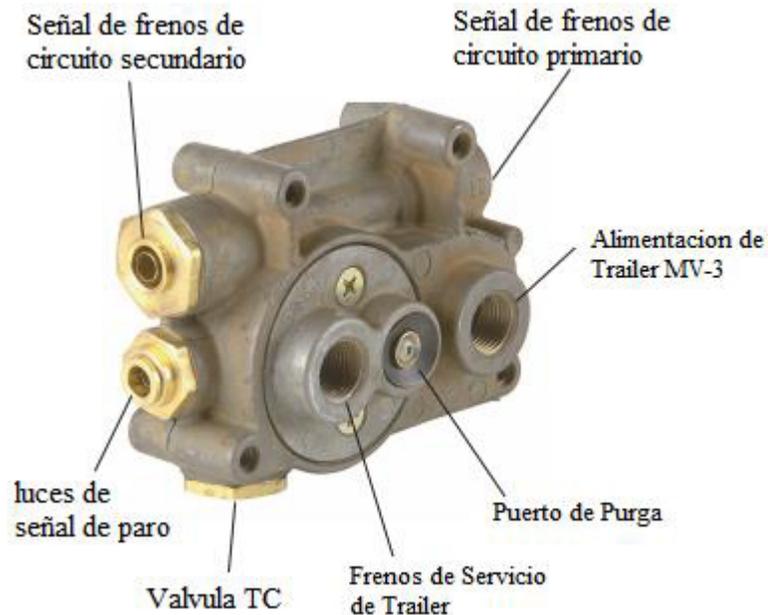


Figura 2.21: Válvula de Protección de Tráiler [18].

Cuando esta válvula entre en funcionamiento, por medio de la válvula de control de frenos de estacionamiento que tenga integrado un control de tráiler (botón rojo,

Figura 2.9) se le da un suministro de aire al activar la válvula de control de frenos de estacionamiento cada vez que se pise el freno cuando se encuentra en movimiento el camión, se enviara la señal a través del puerto de “Línea de Servicio de Tráiler” observado en la Figura 2.22.

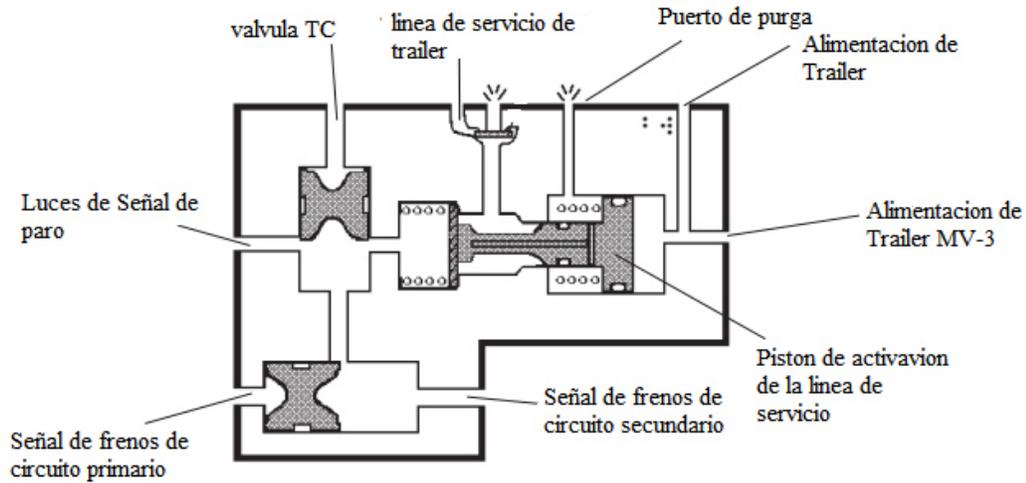


Figura 2.22: Esquemático de válvula de protección de tráiler [18].

Esta válvula, también tiene la función de activar las luces de paro localizadas en la parte trasera del tráiler, esto lo hace al detectar presión de aire en los puertos de señales de los circuitos primario y secundario.

2.2.1.11. Cámaras de Frenado.

Este componente es un contenedor circular, dividido en el medio por un diafragma flexible. La presión de aire actuando sobre el diafragma causa que este se mueva, forzando a que el vástago se desplace actuando sobre los mecanismos que hacen que las balatas rocen con el disco de freno.

En la Figura 2.23 se muestra un corte transversal de una cámara de frenado cuando los frenos están liberados y cuando están actuando. Con ayuda de un resorte los frenos se liberan ya que este se expande venciendo la baja presión en la cámara.

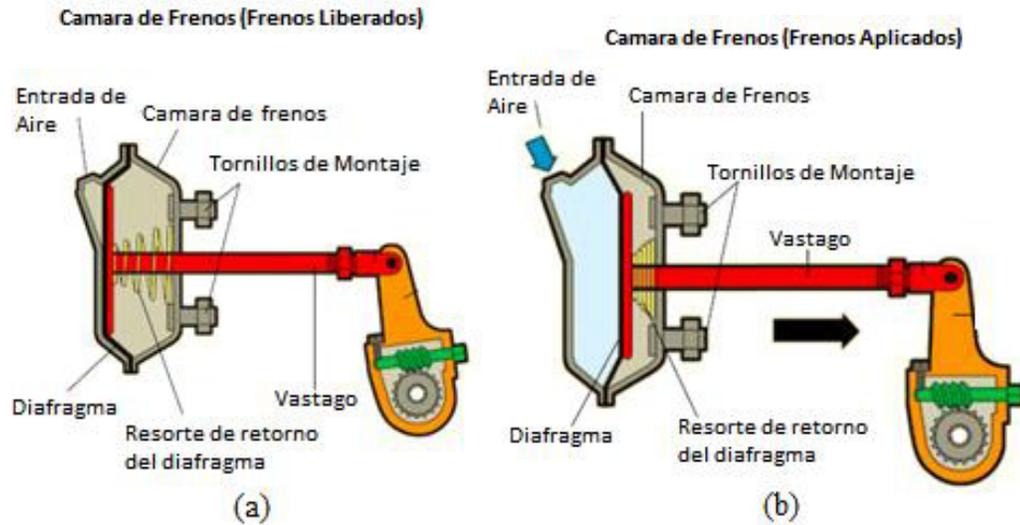


Figura 2.23: Cámaras de Frenado, frenos liberados (a) frenos aplicados (b) [5].

Como se aprecia en la Figura 2.23, en el vástago de la cámara de frenado se coloca una palanca, la cual ayuda que las balatas hagan contacto con los discos o tambores de los frenos cuando se oprima el freno.

2.2.1.12. Cámaras de frenado con resortes de estacionamiento.

Para que los frenos tengan la función de ser actuados cuando el vehículo se encuentra en reposo, se instalan cámaras de frenado con una cámara extra, las cuales contienen un resorte siempre expandido. Cuando se desactivan los frenos de estacionamiento (Figura 2.24), los resortes se retraen por medio del suministro de aire en las cámaras de frenos de estacionamiento.

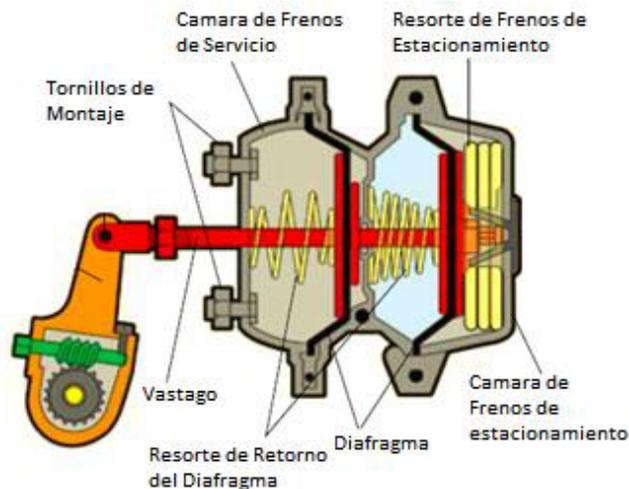


Figura 2.24: Cámaras de frenado con resortes para frenos de estacionamiento [1].

2.2.1.13. Mangueras

Para la conexión y transporte del aire en las válvulas que integran el sistema de frenos, se utilizan mangueras, dentro de ellas existen dos tipos, estas dos se diferencian del material con el que este hecho.

Mangueras de Nailon: son utilizadas para interconectar las diversas válvulas del sistema de frenos, en zonas donde la manguera no esté en riesgo de contacto con algún otro componente del camión que la pueda dañar debido a: vibraciones, movimientos bruscos del camión en operación, o zonas en las que estas puedan deformarse, ya que este material no es lo suficiente elástico para volver a su forma original, después de haber sido deformado, dichas mangueras pueden observarse en la Figura 2.25.



Figura 2.25: Mangueras de Nailon.

Estas mangueras se encuentran en diversos diámetros, la selección del diámetro depende del puerto, entrada o salida de la válvula en cuestión a la que está conectada la manguera. Los diámetros disponibles de este tipo de mangueras se observan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Diámetros de Mangueras de Nailon.

Manguera	Diámetro Exterior
1	6.4mm (1/4in)
2	9.5mm (3/8in)
3	12.7mm (1/2in)
4	15.9mm (5/8in)
5	19.1mm(3/4in)

Mangueras de Caucho: estas mangueras están hechas de caucho, se utiliza este material para que la manguera sea lo bastante flexible y elástica para soportar deformaciones debido a vibraciones o movimiento del camión. Esta manguera puede observarse en la Figura 2.26, donde se observan las mangueras de caucho conectadas a una de las cámaras de frenos traseras, donde junto a ellas se encuentra la suspensión del vehículo. El movimiento de la suspensión puede causar daños a las mangueras, si están fuesen de otro material.



Figura 2.26: Mangueras de caucho, en cámaras de frenos traseras.

Estas mangueras son de un mismo diámetro exterior (1/2 in), lo que varía entre modelos es la longitud de ella.

2.2.1.14. Conectores.

Para el acoplamiento de las mangueras con las válvulas del sistema de frenado es necesario el uso de conectores neumáticos (Fittings). Existen varias categorías de los conectores y las cuales se generan a partir de la geometría del conector o el ángulo de separación entre sus puertos. A continuación, se mencionan algunas de ellas:

- Conectores rectos: 180° entre ellos.
- Conectores de 90°.
- Conectores de 45°
- Conector en T: este conector se utiliza para la distribución de una línea hacia otras dos de salida.

Estos conectores pueden observarse en la Figura 2.27. Estos están hechos de cobre en su parte interna, y recubiertos por un plástico para evitar daños en ellos.



Figura 2.27: Conectores del sistema de frenos.

La implementación del tipo de conector depende de las restricciones de diseño del sistema de frenado, como:

- El evitar interferencias con otros componentes
- El evitar que las mangueras tengan una curvatura muy abrupta que pueda deformarlas y evitar y flujo de aire a través de ellas
- Las dimensiones de las conexiones en las válvulas a las que las mangueras van conectadas.

La implementación del tipo de conexión depende del estándar de conexión en los puertos de entrada y salida en la válvula, manguera o cámara de frenos a conectar. Los estándares de conexión se identifican por las siguientes denominaciones:

a) NPT (siglas en inglés National Pipe Thread)

Este es un estándar de origen estadounidense el cual se apega a la norma ANSI B1.20.1. Este establece las dimensiones de rosca como: el tamaño de la rosca diámetro interior, diámetro exterior de la rosca, paso, etc. Al ser un estándar estadounidense, las dimensiones especificadas estarán siempre en pulgadas. Tal y como se muestra en la Tabla 2.2.

Además de las medidas observadas en la Tabla 2.2, el estándar NPT especifica lo siguiente:

- El ángulo de la rosca debe tener 60° .
- El conector en su área roscada debe tener un ángulo de inclinación de $1^\circ 47'$.

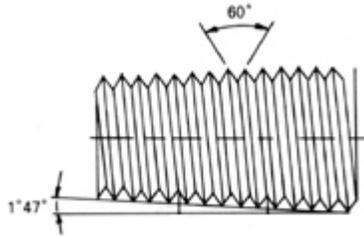


Figura 2.28: Ángulos especificados en el estándar NPT

Tabla 2.2: Dimensiones de estándar de roscas NPT [19].

Tamaño nominal	Roscas por pulgada	Paso		Diámetro Mayor	
		in	mm	in	mm
1/8	27	0.03704	0.94082	0.405	10.29
1/4	18	0.05556	1.41122	0.54	13.72
3/8	18	0.05556	1.41122	0.675	17.15
1/2	14	0.07143	1.81432	0.84	21.34
3/4	14	0.07143	1.81432	1.05	26.67
1	11 ½	0.08696	2.20878	1.315	33.4
1 ¼	11 ½	0.08696	2.20878	1.66	42.16
1 ½	11 ½	0.08696	2.20878	1.9	48.26
2	11 ½	0.08696	2.20878	2.375	60.33
2 ½	8	0.125	3.175	2.875	73.03
3	8	0.125	3.175	3.5	88.9
4	8	0.125	3.175	4.5	114.3

La nomenclatura de este estándar también puede ser referido como MPT, para roscas externas o de tipo macho y como FPT, para roscas internas o de tipo hembra.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

1/8-27 NPT

Donde:

- 1/8: Tamaño nominal del conector
- 27: Se refiere a las roscas por pulgada en la zona roscada del conector
- NPT: estándar del que se trata el conector

En este estándar de roscado es necesario el aplicar un sellador en la unión de las roscas para evitar fugas del fluido que se esté transportando [19]. El compuesto utilizado como sellador es Politetrafluoroetileno en forma de cinta [20].

b) NPTF (Dryseal American Standard Taper Pipe Thread):

Este estándar se rige bajo la norma ANSI 1.20.3. Las medidas y especificaciones de este estándar se basan en las mismas que el estándar NPT, sin embargo, a los conectores fabricados bajo este estándar se les realizaron cambios en su diseño para eliminar el uso de un sellador que evite fugas en la conexión. Para lograr este efecto se realizan algunas modificaciones a la rosca: al fabricar el área roscada de los conectores con raíces más amplias y sus crestas más delgadas. Esto obliga a que se realice un contacto de metal con metal cuando los conectores son instalados [21]. Un esquema de este diseño se puede observar en la Figura 2.29, en esta se observan las dos condiciones de contacto que puede existir para que el conector no necesite sellador.

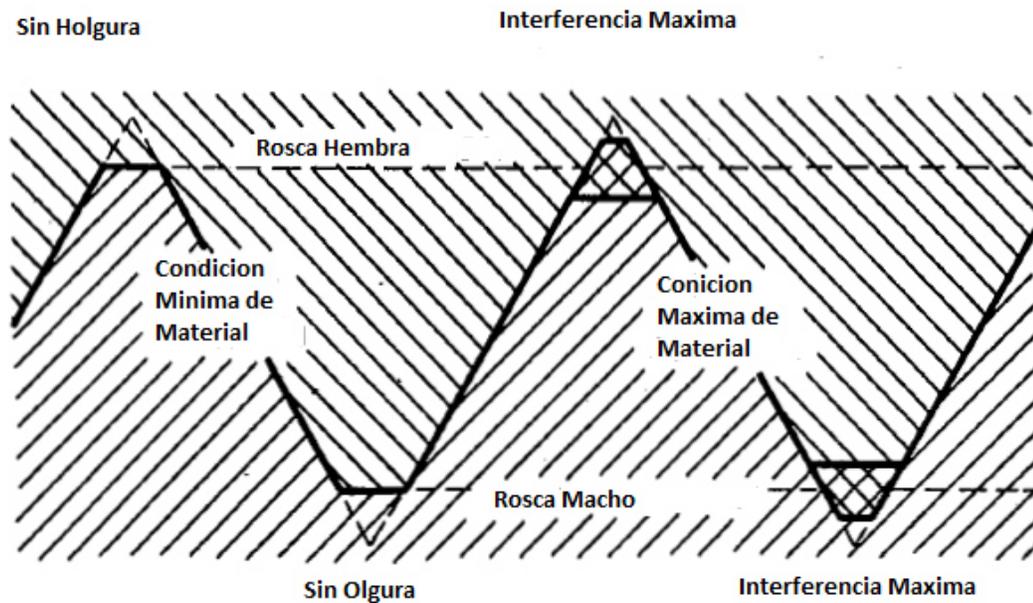


Figura 2.29: Condiciones de contacto en roscas NPTF [21].

Condiciones de contacto:

1. La primera condición mostrada en el lado izquierdo de la Figura 2.29. Se logra haciendo que las crestas (rosca macho) sean de igual dimensión en anchura que las raíces (rosca hembra), generando que tengan contacto perfecto de metal con metal. Aquí se dice que no hay holgura.
2. La segunda condición de contacto se muestra en el lado derecho de la Figura 2.29. A esta condición se llama “máxima condición de material”. Esto se logra al haber fabricado una cresta (rosca macho) muy delgada, pero con una raíz (rosca hembra) muy ancha, generando así una penetración completa de la cresta (rosca macho) en la raíz (rosca hembra).

El formato de la nomenclatura de este tipo de conectores es la misma que el estándar NPT, solo que se agrega una 'F' al final de la nomenclatura como se muestra a continuación:

1/8-27 NPTF

c) PTC (Push To Connect)

Este estándar de conexión permite el conectar y desconectar de manera rápida las mangueras sin uso de herramientas. Para mantener la conexión de la manguera con el conector como se observa en la Figura 2.30, se utiliza un empaque (o 'ring') para el sellado en la conexión y un anillo de retención para mantener la manguera en su lugar cuando ocurre flujo a través de ella [22]. Para realizar la desconexión es necesario presionar el anillo de retención y al mismo tiempo remover la manguera que está en el conector.

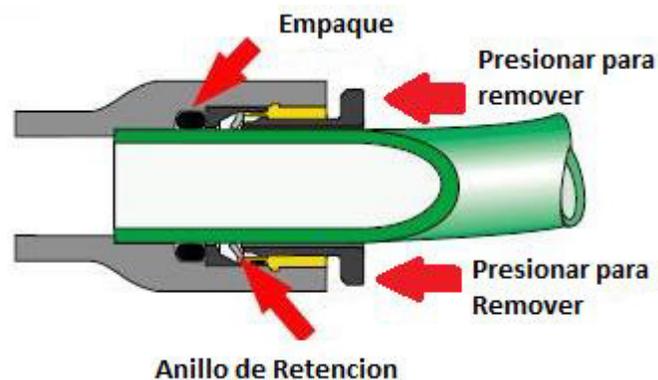


Figura 2.30: Conexión tipo PTC [23].

A pesar de las facilidades que proporcionan los fabricantes de conectores para el sistema de frenos, la gran incógnita para el diseñador radica en cómo este puede llegar a afectar el flujo de aire a través de las líneas neumáticas.

2.2.2. Funcionamiento del Sistema de Frenos de un Vehículo Pesado

El diagrama esquemático de un sistema de frenos se muestra en la Figura 2.31. Como se puede observar en la Figura 2.31, el sistema se divide en 3 partes:

1. Circuito de Carga (Color Gris): encargado de obtener aire del medio ambiente y suministrarlo a las reservas de aire del sistema que a su vez alimentan los circuitos primario y secundario. este consta de los siguientes componentes:
 - a) El compresor, el cual se encarga de comprimir el aire del medio ambiente.

- b) El secador de aire (Air Dryer) el cual se encarga de remover de humedad, basura, polvo y regular la temperatura del aire.
 - c) Gobernador, a él se conectan el compresor de aire y la reserva húmeda, obteniendo un circuito encargado de mantener la presión de aire dentro de todo el sistema bajo cierto rango preestablecido.
2. Circuito Primario (Color Verde): controla el funcionamiento de las cámaras de frenos traseras.
 3. Circuito Secundario (Color Amarillo): Controla el funcionamiento de las cámaras de frenos delanteras.

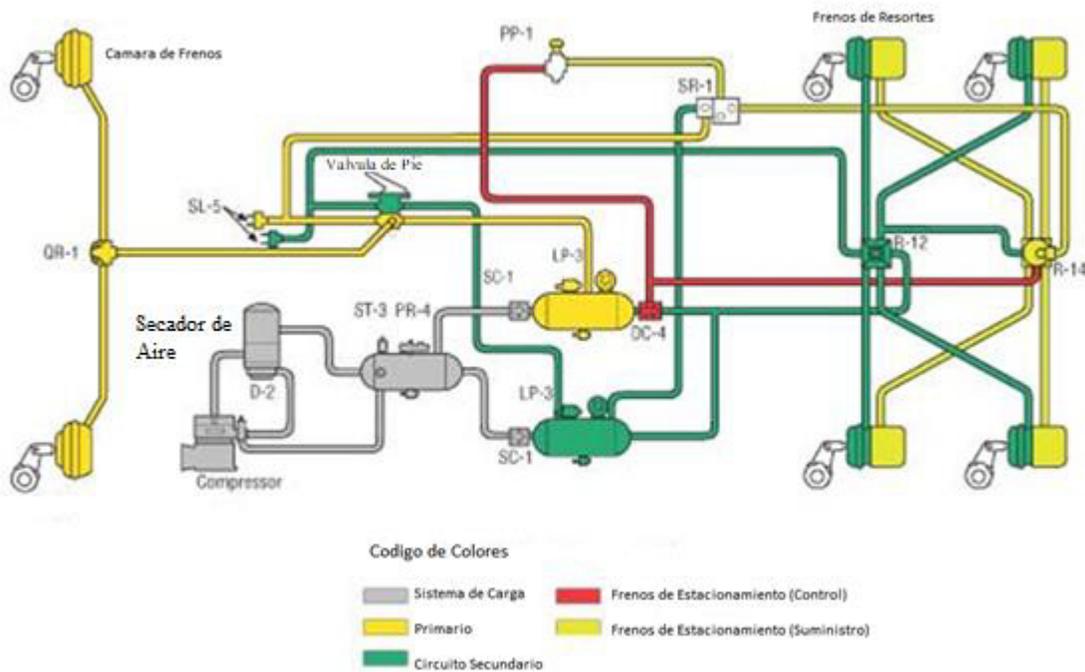


Figura 2.31: Esquématico de un sistema de frenado de vehículos pesados.

2.2.2.1. Frenos de Servicio.

Este modo de frenado se origina cuando el vehículo se encuentra en movimiento y el conductor pisa el pedal del freno acoplado a la válvula de pie. Esta acción modulara el flujo de aire de las reservas primarias y secundarias hacia las cámaras de los frenos delanteros y traseros.

La válvula de pie como se explica en la sección 2.2.1.5, se divide en dos secciones, una que controla el aire suministrado a las cámaras de frenos del circuito primario (Parte superior de la válvula), y otra en la parte superior que controla el aire suministrado a las cámaras de aire del circuito secundario (Parte Inferior de la válvula). A continuación, se

describe el modo de operación de forma individual para los circuitos primario y secundario, debido a que estos funcionan de manera independiente:

Circuito Secundario (Frenos de eje delantero, color amarillo de la Figura 2.31)

1. Al presionar el pedal de la válvula de pie genera el cierre del puerto de descarga y se abran los puertos de entrada y salida de esta.
2. El aire de la reserva secundaria entra en el puerto de entrada de la válvula de pie, la cual modula la cantidad de aire entregado por el puerto de salida hacia las dos cámaras de frenos delanteras.
3. El incremento de presión de aire dentro de las cámaras generara que sus vástagos se desplacen.
4. En serie con cada pistón de frenado, se coloca una válvula moduladora de flujo, la cual se encarga de mantener la presión de aire dentro de la cama de frenado llega a cierto nivel, esto lo hace liberando aire hacia la atmosfera cuando es necesario.
5. Al llegar a cierto nivel de presión de aire dentro de las cámaras de frenado, las válvulas moduladoras mantendrán la presión interna de las cámaras, al cerrar sus puertos de entrada y salida.
6. Al liberar el pedal de la válvula de pie ocasiona que los puertos de entrada de la válvula de pie se cierren y se abra su puerto de escape. Al ir disminuyendo gradualmente la presión de aire en las cámaras de frenos la fuerza ejercida por el resorte interno de las cámaras de aire supera la presión de aire dentro de ella ocasionando que sus vástagos de las cámaras de frenos se retraigan, hasta su posición original.

Circuito Primario (Frenos de eje trasero, color verde de la Figura 2.31).

1. Se presiona la válvula de pie, sus puertos de liberación se cierran y los puertos de entrada y salida se abren. En este caso los puertos de entrega no son conectados directamente a las cámaras de frenos del circuito primario (frenos traseros), debido a la distancia que debe recorrer el aire desde la válvula de pie hasta las cámaras de frenos traseras es muy grande. Por consecuencia el tiempo de respuesta sería muy grande. Por lo tanto, la salida de dicha válvula se conecta al puerto de control de la válvula relevadora.
2. La válvula de pie envía flujo de aire hacia el puerto de control de la válvula relevadora, al llegar a la presión de accionamiento en el puerto de control de la válvula relevadora, se abrirán sus puertos de entrada y salida. Esto permitirá que el aire del tanque primario entre directamente a las cámaras de frenos traseras a través de una distancia más corta y un diámetro mayor.
3. Al dejar de pisar la válvula de pie, se corta el suministro de aire del puerto de control de la válvula relevadora. Ocasionando que los puertos de entrada y salida de la válvula relevadora se cierren y se deje de suministrar aire a las cámaras de frenos traseras. Con ayuda de las válvulas de liberación rápida se acelera la liberación de aire dentro de las cámaras de frenos.

2.2.2.2. Frenos de Estacionamiento.

Se entra en este modo de operación cuando el vehículo se tiene que mantener en modo estacionario:

1. Se cierra la válvula de control de frenos de estacionamiento, estirando el botón de ella (ver Figura 2.32).



Figura 2.32: Botón de válvula de frenos de estacionamiento [24].

2. Al cerrar la válvula de control de frenos de estacionamiento, se cortará el suministro a las cámaras de frenos de estacionamiento ocasionando que se libere el aire dentro de ellas.
3. Por medio de la expansión del resorte interno, los frenos se aplican en los tambores de las ruedas.

2.2.2.3. Frenos de Emergencia.

Este modo de operación entra en el momento en el que alguno de los dos circuitos, primario o secundario, dejen de funcionar por pérdidas de presión o falla de alguno de los componentes. A continuación, se muestra la secuencia de operación de este modo de operación:

1. Cuando esto ocurra con ayuda de la válvula de frenos de resorte, generara liberación de aire de las cámaras de los frenos de estacionamiento de manera gradual.
2. La liberación de aire generara que los que los resortes dentro de estas cámaras de frenos comiencen a expandirse y frenen el vehículo gradualmente hasta que esté totalmente detenido.
3. La única manera en que los resortes vuelvan a ser contraídos y permitan que el vehículo vuelva a moverse es suministrando aire en su cámara.

2.2.2.4. Frenado Compuesto.

Se entiende como frenado compuesto, el activar los frenos de estacionamiento simultáneamente con los frenos de servicio. Esto es perjudicial para las cámaras de frenos de estacionamiento. Al observar la Figura 2.24 se aprecia que los resortes de la cámara de frenos de servicio y la cámara de frenos de estacionamiento se extenderán al mismo tiempo. Por consecuencia el vástago de la cámara de frenos estará sometido a una fuerza muy grande, la cual pudiera llegar a fracturarlo después de un tiempo de uso [1].

Para evitar este problema, se utiliza dentro de las características de la válvula de frenos de resorte su modalidad de frenado anti compuesto.

Para entender cuando el sistema de frenos entra en modo compuesto, hay que considerar el diagrama simplificado de la Figura 2.33.

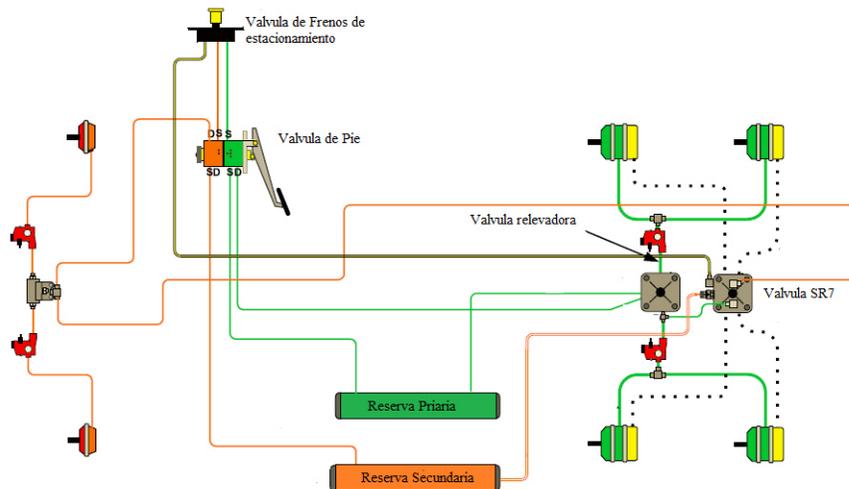


Figura 2.33: Esquema de frenos simplificado [16].

La válvula entra en modo anti-compuesto bajo las siguientes condiciones:

1. Se activan los frenos de servicio, cuando se tienen activados los frenos de estacionamiento, esto ocurre al jalar el botón de la válvula de frenos de estacionamiento ver Figura 2.33:
 - a) Al ocurrir esto se activarán los resortes de la cámara de frenos de servicio, Figura 2.24,
 - b) Simultáneamente la válvula SR7 detecta presión de aire en el puerto de balance, como se aprecia en la Figura 2.34.
 - c) La válvula SR7 entregara presión de aire a la cámara de frenos de estacionamiento, para que sus resortes se retraigan.
 - d) Los resortes de las cámaras de frenos de servicio no se activarán.

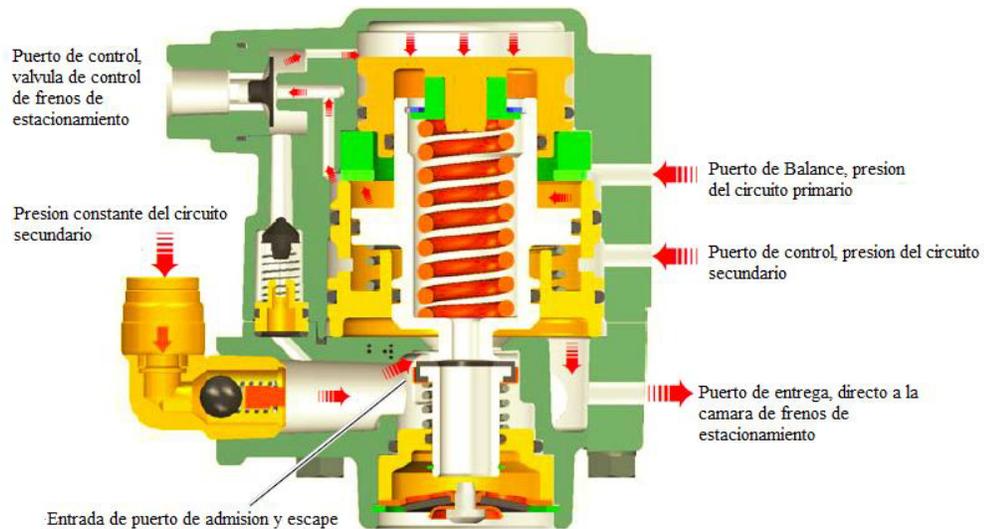


Figura 2.34: Válvula de frenos de resorte SR7 [16].

2. El conductor ya tenga activado los frenos de servicio y active los frenos de estacionamiento, esta estará en el modo de operación mostrado en la Figura 2.34.
 - a) La válvula SR7 no purgara el aire dentro de la cámara de frenos de estacionamiento, lo que evitara la expansión del resorte de estacionamiento (frenos de estacionamiento desactivados),
 - b) Los frenos de servicio permanecerán activados.

2.3. Descripción de la Norma FMVSS 121

Las regulaciones dentro de esta norma aplican a todos los vehículos pesados y autobuses que transiten dentro de los Estados Unidos, la cual establece todos los requerimientos acerca del desempeño del sistema de frenos. Dentro de este trabajo se tomarán en cuenta dos apartados de dicha norma, los cuales establecen los requerimientos para los tiempos de aplicación y liberación de frenos de camiones y autobuses [11]:

1. FMVSS 5.3.3

Para vehículos pesados y autobuses: con una presión inicial en los tanques de 100 psi se requiere que la presión en las cámaras de frenos de servicio debe de ir de 0 a 60 psi en no menos de 0.450 segundos desde el primero movimiento del pedal. Si el vehículo está diseñado para remolcar una caja, se requiere que la presión en el tanque de 50 in³ alcance los 60 psi en no menos de 0.350 segundos.

2. FMVSS 5.3.4

Para vehículos pesados y Autobuses: Con una presión inicial de 95 psi en las cámaras de frenos de servicio, se requiere que la presión en las mismas disminuya de 95

a 5 psi en no menos de 0.550 segundos al primer movimiento del pedal. Si el vehículo está diseñado para remolcar una caja, se requiere que la presión en el tanque de 50 in³ disminuya hasta 5 psi en no menos de 0.750 segundos.

2.4. Metodologías desarrolladas para la caracterización del sistema de frenado.

Como se mencionó en el apartado 1.1 Se han encontrado diversos trabajos donde se caracterizan componentes del sistema de frenos de manera aislada, pero dichos autores se centran en el análisis o modelado de un solo componente [4], [5], [6]. Su comprobación física se realizó mediante el desarrollo de un banco de pruebas y una aplicación de adquisición de datos. En el trabajo de [6], los autores se encargaron de realizar mediciones de varias longitudes para el mismo diámetro de manguera y después determinaron una fórmula empírica para encontrar el tiempo que tarda en llegar a una determinada presión (95 *psi*). La principal diferencia entre este trabajo y los antes mencionados es que en este se pretende documentar y experimentar con diversos modelos para varios componentes.

Dentro de los trabajos citados anteriormente se encuentra la modelación de una válvula de pie [4], marca Bendix ® modelo E-7. Se utilizó el método de parámetros agrupados para llegar a una modelación matemática del comportamiento mecánico de la válvula y que a su vez pueda interactuar con el comportamiento del aire. Para su validación física el autor, se encargó del diseño de un banco de pruebas mostrado en la Figura 2.35 (b), para poder observar el comportamiento de la válvula de pie en sus tres etapas (2.2.1.5). Se implementó una celda de carga para observar la fuerza de aplicación hacia la válvula de pie, un actuador neumático para accionar la válvula de pie, un transductor de presión con una respuesta a la frecuencia de 5 *ms* con modelo U24Y101, el cual es alimentado por 24 *V* de corriente directa (Figura 2.35).

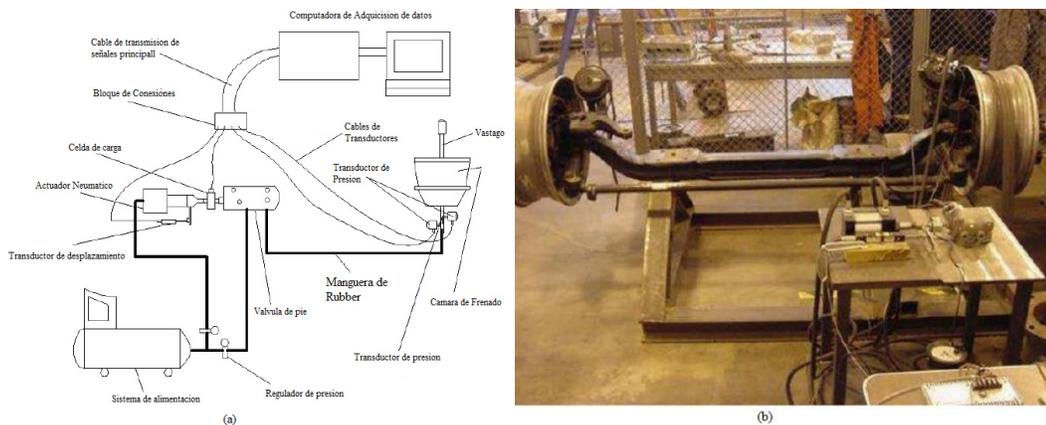


Figura 2.35: Banco de pruebas de validación de modelo matemático de válvula de pie esquema conceptual (a), Implementación del diseño (b) [4].

La información proveniente del sensor se conectó a una tarjeta de adquisición de datos modelo PCI-1200 de la marca National Instruments ®. el programa implementado

fue realizado en MATLAB. Acorde a los resultados del trabajo de investigación este sistema de mediciones mostro ser funcional, pero la experimentación de la válvula de pie fue realizada aislando los circuitos de la válvula. Esto quiere decir que se realizaron mediciones, primero del circuito primario de la válvula y posteriormente del circuito secundario. Además, esta se probó solo con mangueras de un solo diámetro y de tipo caucho, sin tomar a consideración las configuraciones de longitudes y diámetros en sus mangueras que pueden ser implementados.

Otro trabajo de investigación acerca de caracterización de válvulas fue la continuación del antes mencionado [4], donde para el banco de pruebas se le realizaron mejoras para experimentar con una válvula de relevación marca Bendix ®. En la Figura 2.25 (a), es posible observar la mesa de trabajo inicial [4] y en la Figura 2.25 (b) las mejoras que se hicieron a la mesa de pruebas para poder realizar una caracterización de la válvula de relevación. La adquisición de las curvas de presión a través del tiempo se realizó con los mismos componentes del sistema de adquisición de datos del trabajo anterior. El problema de este trabajo es que la caracterización se realizó con una sola configuración de la válvula de relevación. En dicha configuración solo se utilizó un puerto de salida, conectado a una sola cámara de frenos.



Figura 2.36: Mesa de pruebas para caracterización de válvula relevadora, mesa de trabajos anteriores (a) [4], mejoras a mesa de pruebas (b) [5].

El efecto que tienen las mangueras en el desempeño de los tiempos de respuesta dentro del sistema de frenos no ha sido de gran consideración para predecir los tiempos de respuesta [25]. Este es un tema que debe ser atendido con más interés, debido a que en los últimos años se realizan camiones con Wheel base (distancia entre el eje delantero y eje trasero del camión) más largo. Este aumento en longitud causa que el aire se desplace una longitud mayor de las reservas de aire y hacia las cámaras de frenado [26]. Por consiguiente, es necesario una experimentación o modelación del comportamiento del aire dentro de mangueras para frenos.

Aunado a esto, una aproximación más relacionada a esta tesis se puede encontrar en la referencia [6]. Donde los autores del trabajo midieron la presión a través del

tiempo en la entrada y salida de mangueras de nailon en dos diámetros diferentes 10 mm y 12 mm con 5 longitudes diferentes. Para la obtención de los resultados de las mediciones los autores implementaron un sistema como el mostrado Figura 2.37. Se puede apreciar una válvula encargada de accionar el flujo en la línea automática a analizar, un sensor al inicio de la línea neumática y al final de ella. Estos elementos de instrumentación se encuentran conectados a un sistema de adquisición de datos desarrollado en dSPACE.

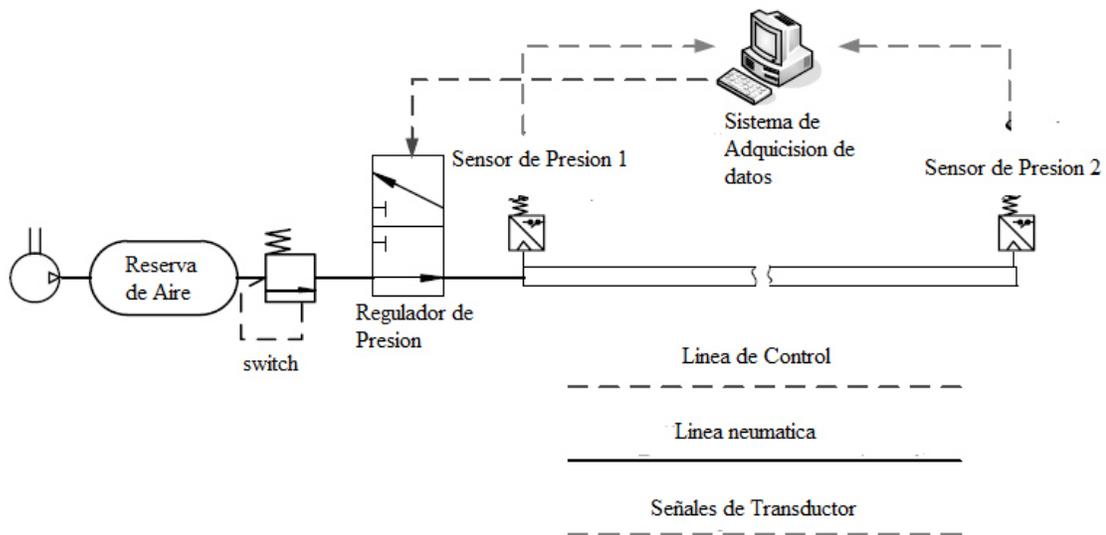


Figura 2.37: Sistema de caracterización de mangueras [6].

A partir de las mediciones realizadas se llegó a comprobar que la longitud de la línea neumática llega a ser un factor importante en el tiempo de respuesta. Al aumentar la longitud de la línea neumática, el tiempo que tarda en estabilizarse la presión a cierto valor (0.6 MPa para este caso de estudio) aumenta. Esto se puede apreciar en la Figura 2.38.

A partir de estos resultados presentados los autores lograron llegar a una fórmula empírica mediante una aproximación polinomial cuadrática. Esta fórmula nos permite para una longitud determinada calcular el tiempo que tardara en llegar la presión en el sensor 2 a un 95% de la presión de suministro (Figura 2.37).

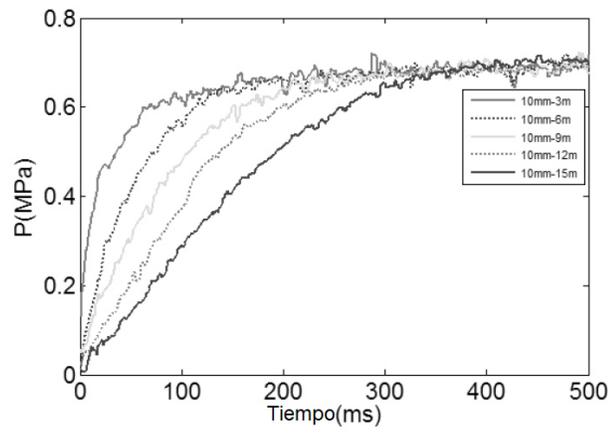


Figura 2.38: Presión vs Tiempo de una línea neumática de 10mm de diámetro en 5 diferentes longitudes [6].

CAPÍTULO 3 ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS

En este capítulo se analizan los diferentes casos de estudio que respaldan la elaboración de este trabajo de investigación. Primero se describirá la metodología tomada para determinar dichos casos. Posteriormente se analiza cada caso de estudio individualmente y se definen los componentes que son resultado de este análisis. En el siguiente apartado de este capítulo se analizan los requerimientos que demanda el estándar SAE J1859 para la obtención de características de entrada y salida en válvulas de frenos. Seguido de una descripción de las necesidades que deben ser cumplidas para la implementación de un sistema de adquisición de datos eficiente y confiable. Posteriormente se definen las características necesarias de los diversos sistemas que engloban la metodología de caracterización a proponer y puntos a considerar.

3.1. Introducción.

Dentro de la empresa NAVISTAR, donde se realizó este trabajo de investigación, se encontraron casos de estudio que demandan caracterizar cada componente del sistema de frenos, ya que en ellos se tiene documentado que una unidad no pasa la norma FMVSS 121. Estos casos de estudio se basan en el diseño del camión considerando lo siguiente;

- a) Aumento en la distancia entre ejes del camión a partir del diseño original, y por consecuencia el incremento de la longitud de ciertas mangueras.
- b) Si se agrega un componente que cause interferencia con alguna válvula o línea neumática previamente establecida, originando una modificación en la longitud.

Dichos casos son explicados dentro de este capítulo, los cuales justifican el diseño de una metodología de caracterización.

A su vez, este capítulo también se centra en una investigación de los puntos que debe satisfacer dicha metodología de caracterización. Para estos puntos fue necesario establecer las restricciones de diseño, lo cual conlleva necesariamente a considerar la ergonomía y volumen que ocupa la válvula. Esto con el constante análisis y revisión bibliográfica de estándares de pruebas a válvulas del sistema de frenos. También se realizó una revisión literaria del comportamiento del aire para así establecer un sistema óptimo para su medición.

3.2. Casos que generan desaprobación de la norma FMVSS 121

Debido al trabajo de investigación realizado en conjunto con la empresa NAVISTAR, se llegó a encontrar varios casos de los que se tiene documentación de cuando un camión no aprueba los requerimientos de la norma FMVSS 121. Esto gracias a que la empresa cuenta con un sistema de adquisición de datos especialmente diseñado para determinar si un camión aprueba o no. En base a las pruebas fallidas se determinó las posibles causas a partir de los cambios de diseño que se generaron, para cada caso particular. A continuación, se explican dichos casos:

1. Alteración de la distancia entre ejes (Wheel base) del camión:

Al alargar o acortar la distancia entre ejes varias mangueras del camión pueden llegar a modificar su longitud lo que conlleva un riesgo de no aprobar la norma.

2. Cambio de modelo de cualquiera de las tres reservas de aire del camión:

Esto ocurre cuando se cambia el volumen de alguna de las reservas de aire dentro del camión ya sea la reserva húmeda, reserva primaria o reserva secundaria. Si se disminuye el volumen de alguna de ellas existe el riesgo de no pasar la norma.

3. Se aumentan longitudes y diámetros de mangueras o se agregan conectores angulares.

Cuando se alteran longitudes o los diámetros de mangueras en ciertas secciones del sistema llega a ocurrir la desaprobación de la norma, dichas secciones son:

- a) Manguera entre válvula de pie y válvula relevadora trasera (línea de control).
- b) Manguera entre válvula relevadora trasera a las válvulas moduladoras y manguera de válvula moduladora hacia las cámaras de frenos traseras.
- c) Manguera de aire entre válvula de pie a las moduladoras delanteras y de las válvulas moduladoras delanteras a las cámaras de frenos delanteras.
- d) Manguera entre el módulo de tanques de aire y la válvula relevadora trasera.
- e) Manguera entre el módulo de tanques de aire y la válvula de pie.

El agregar o cambiar un conector ubicación en las líneas neumáticas mencionadas anteriormente también es causa de desaprobación de la norma.

4. Cambio en la localización de las reservas de aire

Las reservas de aire comúnmente se localizan en el área circulada de la Figura 3.1. Si el diseño lo requiere, estas pueden ser desplazadas a lo largo del camión (ver Figura 3.1). Como se explicó en el apartado 2.2.2, las válvulas de control: válvula de pie y válvula relevadora, son conectadas directamente a las reservas de aire. Por consecuencia al cambiar de lugar las reservas de aire su longitud aumentará o disminuirá causando riesgo de no aprobar la norma.



Figura 3.1: Localización de reservas de aire en un camión y área en las que pueden ser desplazadas [27].

5. Cambios en la suspensión trasera.

Si se llegara a modificar la suspensión trasera del camión como en los siguientes casos, se puede llegar a no cumplir la norma:

- a) Se agrega una suspensión de aire en el camión, al realizar este cambio es necesario definir un volumen nuevo en las reservas de aire.
 - b) Al realizar los cambios de diseño en la suspensión que tengan como consecuencia la alteración en el diseño del sistema de frenos. Cambiando de localización alguna de las válvulas localizadas en la parte trasera (válvula de relevación, válvula de liberación rápida,) o las cámaras de frenos.
6. Implementación de un eje de elevación (conocido en la industria como Lift Axle) o modificaciones al existente.

Como se aprecia en la Figura 3.2 un eje de elevación (lift axle) es un eje auxiliar sin control de dirección. Este se activa cuando el camión requiere soportar una carga más pesada [28]. Al agregar o modificar el diseño o la localización de este eje en el camión, puede ocasionar cambios en la localización de las válvulas en el sistema de frenos. Ocasionando un aumento o disminución de las longitudes de mangueras en el sistema de frenos.



Figura 3.2: Eje de elevación (Lift Axle) [28].

7. Se implementa un sistema antibloqueo (ABS) en el camión o se modifica el existente.

Si se quiere agregar un sistema antibloqueo la válvula de relevación en el diseño del sistema de frenos se tiene que cambiar por una válvula modelo ATR6. Al implementar dicha válvula se ha llegado a no aprobar la norma.

Los autores de la referencia [26], se encargaron de realizar un experimento al diseño de un sistema de frenos preestablecido, con las mismas longitudes y diámetros de mangueras, pero intercambiando los números de parte de las válvulas relevadora, realizaron corridas con 2 números de parte diferentes. Al analizar los resultados obtenidos notaron una gran diferencia en los tiempos de aplicación del eje trasero $\Delta t =$

0.08 s, lo cual es una reducción bastante considerable por solo modificar el número de parte de una válvula.

8. Se altera el diámetro o longitud de las mangueras de tráiler.

Las mangueras de tráiler son las mangueras ubicadas en la parte trasera de la cabina, mostradas en la Figura 3.3. Las cuales se conectan al tráiler cuando el camión requiera tirar de una carga extra. Si se llegan a implementar estas mangueras o modificar sus diámetros, puede llegar a no pasar la norma, debido a que se requiere un mayor volumen que el aire debe ocupar.

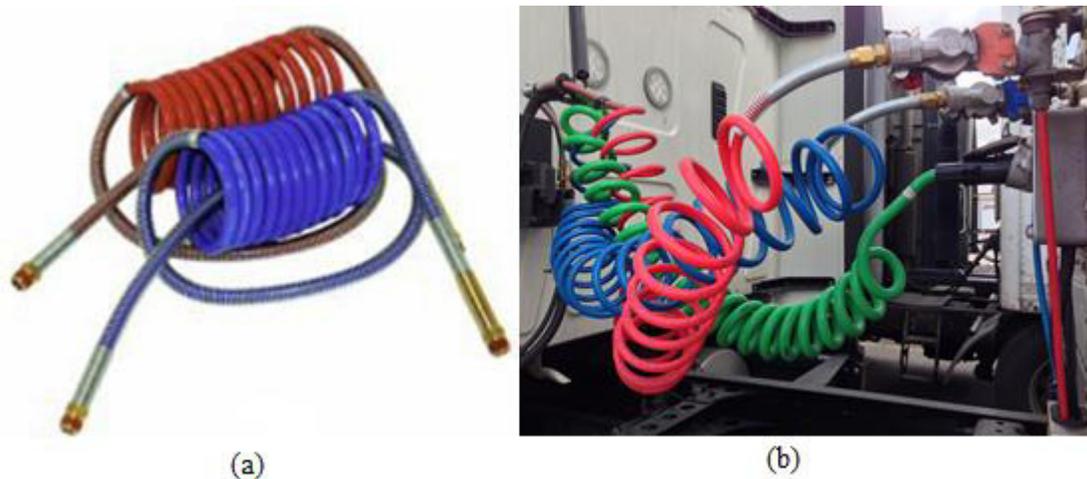


Figura 3.3: Mangueras de tráiler (a), mangueras de tráiler implementadas (b) [29].

9. Implementación de asistente para subir colinas (conocido en la industria como “Hill Start Aid”).

Al implementar un sistema Hill Start Aid, se agregan válvulas y conectores al sistema, lo que puede ocasionar un cambio en localización de válvulas y alargamiento o acortamiento de ciertas mangueras. Al realizar estas modificaciones se agregan restricciones al flujo de aire en el sistema, por consecuencia habrá un retraso en los tiempos de aplicación y liberación.

3.3. Determinación de componentes para caracterización.

En la etapa de planeación del proyecto se decidió definir los componentes del sistema de frenos que deben ser caracterizados, esto a partir de determinación de los componentes que estén presentes en los casos en los que un camión no aprueba la norma (sección 3.2). Los componentes del sistema de carga no fueron considerados. A partir de esto se realizó un levantamiento de los componentes que integran el sistema de frenos para agruparlos, y así filtrarlos en dos grupos: sistema de carga y componentes a caracterizar. Estos componentes pueden observarse en la Tabla 3.1.

Se tomó la decisión de no analizar las cámaras de frenos. Estas serán analizadas cuando se realice trabajo a futuro de este proyecto.

Tabla 3.1: Secciones del sistema de frenos.

Componentes del Sistema de Frenos		
Sistema de Carga	Componentes por caracterizar	
	Tipo	Componente
<ul style="list-style-type: none"> • Compresor. • Secador de Aire. • Tuberías de Cobre. • Conectores con válvula antirretorno. • Gobernador. • Reservas de aire. • Cámaras de frenos • Cámaras de frenos con resortes de estacionamiento 	Válvulas	<ul style="list-style-type: none"> • Válvula de Pie • Válvula relevadora • Válvula de liberación rápida • Válvula de liberación rápida en línea • Válvula de control de frenos de estacionamiento • Válvula de frenos de resorte • Válvula solenoide • Válvula TP5
	Conectores	<ul style="list-style-type: none"> • Rectos • 90° • 45° • Conectores en T
	Mangueras	<ul style="list-style-type: none"> • Nailon • Caucho

3.4. Estándares de procedimientos de pruebas.

Para el diseño de experimentos de este tipo se realizó una investigación de prácticas recomendadas para la caracterización de este tipo de componentes. Se encontró que la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) define estándares que sugieren prácticas para la determinación de la calidad de los componentes que integran el sistema de frenos. Dentro de dichos estándares se encuentra el estándar J1859 [30], la cual define prácticas recomendadas para determinación de características en entrada y salida de cualquier tipo de válvula utilizada dentro del sistema de frenos de vehículos pesados.

Dentro del estándar J1859, se define una clasificación de las válvulas del sistema de frenos, esta clasificación se define a partir del tipo de pilotaje con el que cuenta cada válvula.

1. Pilotaje mecánico.
 - a) Válvula de Pie.
2. Pilotaje neumático.
 - a) Válvulas Relevadoras
3. Válvulas sin pilotaje.
 - a) Válvula de liberación rápida.

- b) Válvula de liberación rápida en línea
- c) Válvulas limitadoras de presión.
- d) Válvulas moduladoras.

3.4.1. Especificaciones ambientales y de instrumentación.

Posteriormente se especifican las condiciones en las que debe estar la válvula para la determinación de sus características de entrada y salida.

1. Temperatura ambiente:

Las pruebas por realizar deberán ser realizadas a una temperatura de entre 15.5 a 43.3 °C.

2. Montaje de válvulas:

El montaje de las válvulas a analizar deberá ser lo más apgado cuando esta se encuentra en servicio dentro de un camión. Por consecuencia será necesaria la fabricación de una mesa de pruebas donde sea posible montar los componentes a analizar. Para esto será necesario considerar varias limitaciones de montaje que requieren las válvulas, debido a que la mayoría contiene soportes con tornillos para ser ensamblados. Dichos tornillos son de medidas y estándares diferentes dependiendo del fabricante, además sus dimensiones y ubicación dependen de la válvula que se analizará.

Un ejemplo de esto puede apreciarse en la Figura 3.4 (a), (b) y (c), donde se puede observar los puntos de ensamble para: la válvula de pie están ubicados en su parte superior, la válvula moduladora en su costado contiene barrenos para que se inserten tornillos para su montura y válvula de relevación ATR6 se fabrica con un bracket que ya tiene integrados tornillos para su montura.

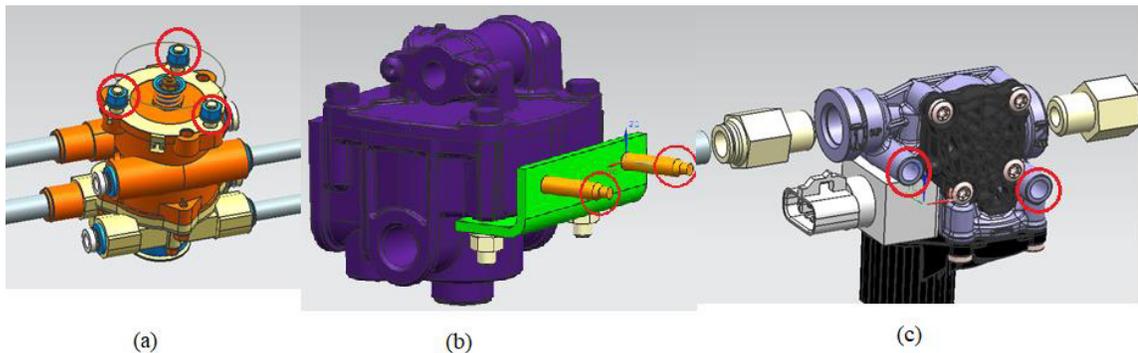


Figura 3.4: Puntos de ensamble: Válvula de pie (a), Válvula relevadora (b), Válvula moduladora (c).

Otro aspecto que considerar es la distancia de separación entre el puerto de purga con respecto a la superficie paralela a él, la mayoría de las válvulas especifica 2 plg. Si esta dimensión no se respeta, se puede llegar a dañar la superficie paralela al puerto de purga o inclusive dañar la válvula, porque el aire puede llegar a rebotar cuando este se purgue.

3. Unidades de presión.

Las unidades de presión que se medirán en las pruebas a realizar, deberán ser unidades manométricas.

4. Aire de Suministro:

El aire deberá ser limpio y libre de humedad, a menos que se especifique lo contrario.

5. Fugas de aire.

No se permite las fugas de aire durante las pruebas, las fugas deberán ser probadas aplicando jabón con agua en las conexiones, si se generan burbujas no se deberá de realizar la prueba hasta que sean eliminadas.

6. Instrumentación.

Los sensores y sistema de adquisición de datos son de vital importancia para obtener datos confiables. Dentro de este estándar no se definen sensores o sistemas de adquisición de datos a los que se tienen que apegar los ingenieros de pruebas, pero si se definen características que deben tener dichos instrumentos de medición:

- a) Las mediciones de presión deberán tener una tolerancia de $\pm 2.5\%$
- b) Mediciones de desplazamiento deberán tener una tolerancia de $\pm 2.5\%$, esto es para las válvulas que son piloteadas mecánicamente donde se requiera analizar sus características de salida a partir del desplazamiento de su mecanismo de activación.
- c) Las mediciones de fuerza deberán tener una tolerancia de $\pm 5.0\%$, esto es también para las válvulas piloteadas mecánicamente, como por ejemplo la válvula de pie, si se requiere analizar la fuerza necesaria para llegar a cada una de sus etapas de operación (2.2.1.5).

7. Instrumentación para medición de aire.

La calibración de los sensores a utilizar debe ser verificada y grabada, esta calibración deberá realizarse conectando todos los sensores a la misma referencia. Se especifica que esta calibración debe ser realizada antes y después de realizar una prueba a una determinada válvula. Estos resultados de la calibración deben ser guardados junto con los resultados de las pruebas.

3.4.2. Procedimientos de experimentación.

Al cumplir con las especificaciones mencionadas en el apartado 3.4.1 y haber clasificado las válvulas que se van a probar, el estándar J1859 especifica configuraciones de experimentación para cada clasificación de válvulas. Donde se describe: el dimensionamiento del equipo neumático necesario para la experimentación de cada configuración, sus conexiones entre este equipo y los dispositivos de instrumentación. A continuación, se describen las configuraciones.

4. Medir la presión en los puertos de control, entrada y salida de la válvula de manera continua, los incrementos en los que se debe de medir y grabar no deben de exceder los 0.2 psi .
5. Cuando la presión de entrada llegue a $(135 \text{ in} \pm 5 \text{ in})$, se debe mantener presión en la válvula por 1 segundo o hasta que la presión se estabilice.
6. Liberar la presión en el puerto de control, al mismo tiempo mida y grabe la presión en los puertos de entrada, salida y control, hasta que estos lleguen a tener 0 psi .

2. Válvulas sin pilotaje.

Al experimentar con este tipo de válvulas, se debe seguir la configuración propuesta en la Figura 3.6.

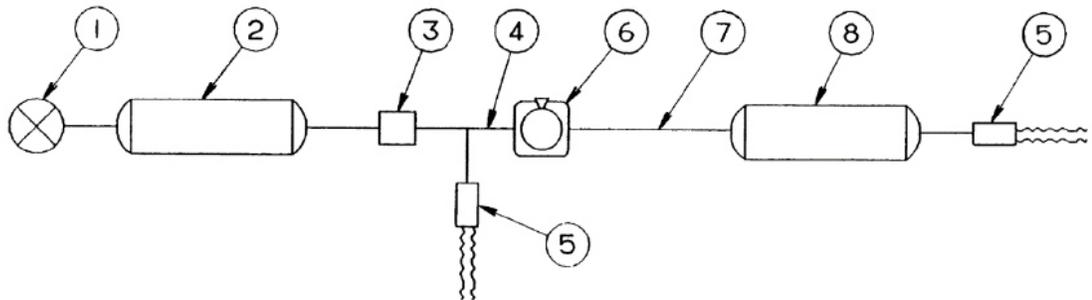


Figura 3.6: Esquema de experimentación para válvulas a través [30].

A continuación, se enumera la nomenclatura mostrada en la Figura 3.6:

1. Regulador de presión: Este está conectado a una fuente de alimentación de aire el cual alimenta las reservas de alimentación.
2. Reserva de alimentación: debe de tener $135 \text{ psi} \pm 5 \text{ psi}$.
3. Válvula de accionamiento.
4. Mangueras de Nailon en el puerto de entrada: deben tener diámetro exterior de $\frac{1}{2} \text{ in}$ y tener una longitud de $36 \text{ in} \pm 6 \text{ in}$.
5. Transductor de presión.
6. Válvula de experimentación.
7. Mangueras de Nailon puerto de salida: deben tener diámetro exterior de $\frac{1}{2} \text{ in}$ y tener una longitud de $6 \text{ in} \pm 3 \text{ in}$.
8. Volumen de entrega: debe contar con un volumen de $(50 \text{ in}^3 \pm 5 \text{ in}^3)$.

Para realizar los experimentos a válvulas sin pilotaje el estándar J1859 define los siguientes pasos a seguir:

1. Ensamblar la configuración mostrada en la Figura 3.6.
2. Ciclar la válvula con la que se experimentara tres veces sin grabar los datos de presión.
3. Aplicar presión en los puertos de entrada de la válvula, esto se hará accionando la válvula de control de flujo de la Figura 3.6. Al mismo tiempo medir y grabar la presión en los puertos de entrada y salida de la válvula.

4. Medir la presión en los puertos de entrada y salida de la válvula de manera continua, los incrementos en los que se debe de medir y grabar no deben de exceder los 0.2 psi .
5. Cuando la presión de entrada llega a $(135 \text{ psi} \pm 5 \text{ psi})$, se debe mantener presión en la válvula por 1 segundo o hasta que la presión se estabilice.
6. Liberar la presión en el puerto de entrada, desactivando la válvula de control de flujo de la Figura 3.6. Al mismo tiempo medir y grabar la presión en los puertos de entrada y salida, hasta que estos lleguen a tener 0 psi .

3. Válvulas piloteadas mecánicamente.

Dentro de esta clasificación de válvulas solo existe la válvula de pie. En esta configuración se recomienda el uso de sensores de fuerza y acelerómetros, debido a que su activación es mediante el accionamiento mecánico de su pedal exige el medir este desplazamiento y observar las etapas en las que se encuentra la válvula (estas etapas son explicadas en la 2.2.1.5). La manera en la que se recomienda experimentar con dicha válvula puede apreciarse en la Figura 3.7.

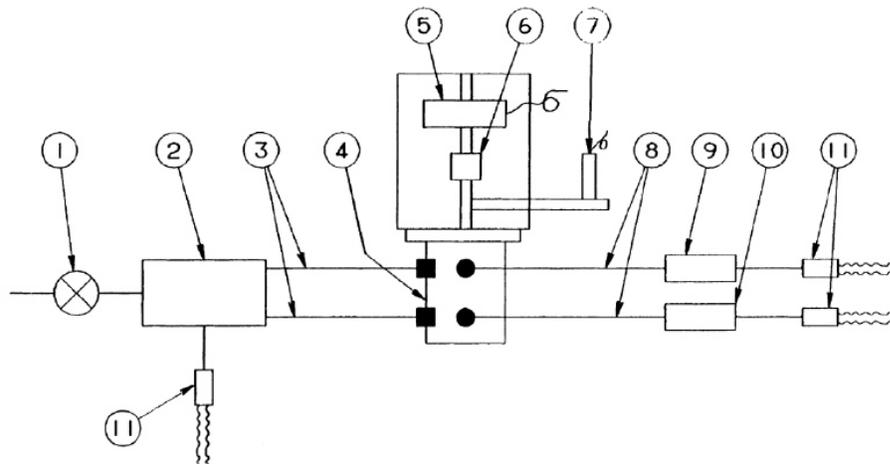


Figura 3.7: Esquema de experimentación para válvulas piloteadas mecánicamente [30].

La identificación y especificaciones de los componentes que se aprecian en la Figura 3.7, se explican a continuación:

1. Regulador de presión: este está conectado a una fuente de alimentación de aire comprimido el cual alimenta las reservas de alimentación.
2. Reserva de alimentación: debe de tener $135 \text{ psi} \pm 5 \text{ psi}$.
3. Mangueras de Nailon en puertos de entrada de circuito primario y secundario: deben tener diámetro exterior de $\frac{1}{2} \text{ in}$ y tener una longitud de $36 \text{ in} \pm 6 \text{ in}$.
4. Válvula de experimentación.
5. Celda de carga.
6. Actuador de accionamiento: este debe ejercer una fuerza a razón de 9 lb/s con un error de $\pm 10\%$.
7. Transductor de desplazamiento
8. Manguera de Nailon: deben tener diámetro exterior de $\frac{1}{2} \text{ in}$ y tener una longitud de $6 \text{ in} \pm 3 \text{ in}$.

9. Volumen de entrega de circuito primario: debe contar con un volumen de $(50 \text{ in}^3 \pm 5 \text{ in}^3)$.
10. Volumen de entrega de circuito secundario: debe contar con un volumen de $(50 \text{ in}^3 \pm 5 \text{ in}^3)$.
11. Transductor de presión.

Para realizar los experimentos el estándar J1859 define los siguientes pasos a seguir, para obtener datos confiables de válvulas accionadas mecánicamente:

1. Ensamblar la configuración mostrada en la Figura 4.42.
2. Se recomienda realizar los experimentos sin pedales.
3. Ciclar la válvula con la que se experimentara tres veces sin grabar los datos de presión.
4. Aplicar la fuerza una fuerza en el pilotaje mecánico de la válvula.
5. Medir y grabar: los datos de la fuerza de entrada en el vástago además de su desplazamiento, presión en los puertos de entrada y salida del circuito primario y secundario de la válvula de pie. Las presiones deben ser medidas y grabadas en incrementos que no excedan 0.2 psi .
6. Cuando la presión de salida del circuito primario alcance $(135 \text{ psi} \pm 5 \text{ psi})$ y el desplazamiento máximo especificado. Se deberá mantener la fuerza de entrada por lo menos 1 segundo, o hasta que la presión del circuito secundario se estabilice.
7. Liberar la fuerza de entrada en el vástago. Al mismo tiempo medir y grabar el desplazamiento del vástago y las presiones en los puertos de salida de la válvula hasta que la presión en los volúmenes de entrega llegue a 0 psi y la fuerza aplicada al vástago sea de 0 lb .

3.5. Obtención de curvas Presión vs Tiempo.

Debido a que este proyecto es una caracterización, es necesario medir una variable física a través del tiempo, que sea tangible y de fácil interpretación. Para esto es necesario dimensionar un sistema de adquisición de datos, que mida de manera confiable nuestras variables físicas a medir, la cual es presión. Primero es necesario entender el comportamiento de la variable a medir, seguido de un entendimiento de la estructura que tiene que respetar un sistema de adquisición de datos.

3.5.1. Comportamiento del Aire

El flujo de aire bajo esas condiciones se comporta como flujo compresible [6]. Este flujo se caracteriza por provocar cambios considerables en la densidad del fluido [31], además de tener velocidades de flujo muy altas [32]. Las cuales son expresadas en términos de velocidad del sonido, dicha relación se denomina número de mach (Ma) [31]:

$$Ma = \frac{V}{c} \quad \text{Ec (1)}$$

Dónde:

V: Velocidad a la que fluye el fluido.

c: velocidad del sonido en el fluido a analizar.

La velocidad del sonido en el fluido (c), se calcula con:

$$c = \sqrt{kRT} \quad \text{Ec (2)}$$

Dónde:

k : es la razón de calores específicos del aire.

R : Constante de gases ideales.

T : Temperatura del fluido.

Dependiendo del valor que el número de Mach toma [Ec (1)], se definen varios tipos de flujo compresible, dichas denominaciones de flujo se observan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Tipo de flujo compresible en función del numero de Mach [31].

Tipo de Flujo	Valor del Número de Mach
Subsónico	$Ma < 1$
Sónico	$Ma = 1$
Supersónico	$Ma > 1$
Hipersónico	$Ma \gg 1$
Transónico	$Ma \cong 1$

3.6. Análisis Para Propuesta de Caracterización.

Después de haber analizado los casos en los que se presenta la desaprobación de la norma junto con los componentes que presentan el problema, se determinaron las configuraciones de los experimentos a realizar. También se determinaron las características que debe satisfacer el área de montaje para la caracterización de válvulas esto a partir de las especificaciones de diseño de cada válvula. Posteriormente se determinaron las características que debe cumplir el sistema de adquisición de datos, a partir del comportamiento de las señales entregadas por los sensores.

3.6.1. Configuraciones de experimentos.

Al analizar los casos de estudio que justifican este trabajo de investigación, se lograron identificar los componentes del sistema que requieren de una caracterización, además del establecimiento de las configuraciones en las cuales se deberá experimentar. Esto fue a partir de los casos en los que se ha presentado la desaprobación de la norma FMVSS 121. Posteriormente se determinaron configuraciones específicas de válvulas con longitudes y diámetros de mangueras, estas configuraciones fueron determinadas por la empresa NAVISTAR y los procedimientos de pruebas a válvulas según el

estándar SAE J1859. Cada válvula, manguera y conector se analizará como se muestra en la Tabla 3.3. Donde se define la cantidad de modelos que se usaran para cada componente, cantidad de configuraciones a partir del estándar de la SAE J1859 y las configuraciones en las que utiliza la empresa NAVISTAR dentro de los camiones que fabrica. Además, se agregó una columna donde se especifica la máxima cantidad de puntos de medición necesarios para obtener las curvas de presión requeridas para el análisis de resultados. Esto con la finalidad de determinar la cantidad de sensores necesarios para las pruebas y al mismo tiempo la selección de una tarjeta de adquisición de datos que satisfaga la cantidad necesaria de entradas a medir.

Tabla 3.3: Configuraciones y combinaciones para caracterización de componentes del sistema de frenos.

Categoría	Componente	Configuración de estándar SAE J1859	Cantidad de Modelos	Número de Combinaciones	Máximo número de salidas
Válvulas	Válvula de Pie	Válvula pilotada mecánicamente	1	3	8
	Válvula relevadora	Válvula pilotada neumáticamente	2	10	8
	Válvula de liberación rápida	Válvula sin pilotaje	2	4	6
	Válvula de liberación rápida en línea	Válvula sin pilotaje	1	1	4
	Válvula de control de frenos de estacionamiento	Válvula sin pilotaje	1	1	4
	Válvula de frenos de resorte	Válvula pilotada neumáticamente	2	1	5
	Válvula solenoide	Válvula sin pilotaje	1	1	4
	Válvula TP5	Válvula sin pilotaje	1	1	4
Conectores	Rectos	N/A	22	4	4
	90°	N/A	36	4	4
	45°	N/A	19	4	4
	Conectores en T	N/A	38	2	6
Mangueras	Nailon	N/A	6	4	4

	Caucho	N/A	5	1	4
--	--------	-----	---	---	---

Para la realización de estos experimentos, será necesario el diseñar un tanque de entrega con volúmenes especificados por el estándar SAE J1859 (analizado en el apartado 3.4.2). Pero el volumen de este tanque fue reemplazado, este deberá contener dos compartimentos uno que tenga la misma capacidad de una cámara de frenos tipo 36 y su otro compartimento tendrá el volumen de una cámara de frenos tipo 30. Esto se determinó por la constante comunicación con la empresa NAVISTAR ya que posteriormente se planea el analizar los datos con una cámara frenos. Las especificaciones del tanque necesario para la experimentación se muestran en la Tabla 3.4, donde se especifican los volúmenes de las cámaras de frenos mencionadas [33]:

Tabla 3.4: Especificaciones de volumen para el tanque de entrega a diseñar.

Especificaciones de tanque a diseñar	
Volumen 1 (Tipo 30)	Volumen 2 (Tipo 36)
89 in ³	135 in ³

Un componente importante para la ejecución de los experimentos que se diseñaran será una válvula de accionamiento, la cual acciona el flujo a través de él u obliga su funcionamiento al activar su puerto de control, esto se explica en la sección 3.4.2. Esta válvula deberá ser de 3 vías 2 posiciones normalmente cerrada, como el esquemático mostrado en la Figura 3.8.

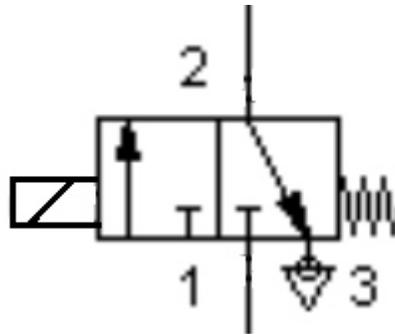


Figura 3.8: Esquema neumático de válvula de accionamiento requerida.

Esta válvula tiene que ser accionada mediante un solenoide, dicho solenoide se conectara a un interruptor eléctrico que controlara el accionamiento de dicha válvula. Esto tiene la finalidad de garantizar el mismo tiempo de activación en todas las mediciones que se realizaran. El retroceso a su posición original deberá de ser mediante un resorte.

3.6.2. Condiciones ambientales.

Como se especificó en la sección 3.4.1, el montaje de las válvulas cuando se lleva a cabo la implementación de pruebas se debe realizar como si la válvula estuviera montada en servicio. Para esto es necesario la fabricación de una mesa de pruebas con

todos los soportes necesarios para que se puedan montar todas las válvulas. Estos soportes deberán tener los suficientes barrenos para que se puedan montar las diversas válvulas dependiendo de las dimensiones de sus puntos de ensamble.

También esta mesa de pruebas deberá proporcionar la facilidad de montaje de los tanques de entrega a diseñar, tanques de suministro y válvula de accionamiento. Al mismo tiempo esta deberá adecuarse a las restricciones de espacio disponible dentro de la empresa NAVISTAR, esta dispone de un área de alrededor de $12 m^2$. Un ejemplo de la mesa de pruebas esperada se puede observar en la Figura 2.35.

3.6.3. Sistema de adquisición de datos.

Se determinaron los requerimientos mínimos que debe satisfacer la tarjeta de adquisición de datos, los sensores a utilizar, los transductores de presión y acelerómetro, para obtener de manera confiable las señales. Dichos requerimientos se especifican dentro de la Tabla 3.5. Esto a partir del comportamiento del aire, explicado en la sección 3.5.1.

Tabla 3.5: Requerimientos de tarjeta de adquisición de datos.

Requerimientos de tarjeta de adquisición		
1	Comportamiento de señal de entrada	Voltaje analógico
2	Rangos de entrada	0 – 5 V
3	Frecuencia de muestreo	Mayor a 1 kS/s
4	Arquitectura de muestreo	Simultanea
5	Entradas	8
6	Conector de entradas	terminal de tornillo

Los valores establecidos para los requerimientos de las partidas 1 a 3, se rigen en base a las características de las señales de salida de los sensores a utilizar.

Se seleccionó también, una arquitectura de muestreo simultanea para evitar la pérdida de datos cuando se estén realizando las mediciones. La cantidad de entradas requeridas se determinó a partir de los resultados mostrados en la Tabla 3.3, como se puede observar la cantidad máxima de entradas requeridas son 8. Se determinó que es necesario que la tarjeta tenga un conector de entrada con terminal de tornillo, debido a la facilidad, confiabilidad y flexibilidad de conexiones que esta proporciona, un ejemplo de este tipo de terminal se puede observar en la Figura 2.17.



Figura 3.9: Terminales tipo tornillo de una tarjeta de adquisición de datos [34].

Otro aspecto que considerar para la selección de una tarjeta de adquisición de datos óptima será la disponibilidad de presupuesto provisto por la empresa NAVISTAR, esto puede afectar en el sacrificio de alguno de los requerimientos enumerados. La marca de la tarjeta de adquisición de datos a utilizar será National Instruments®, debido a su robustez, confiabilidad y experiencia que se tiene de trabajar con esta marca.

La computadora por utilizar con el software necesario para las mediciones tiene las características enumeradas en la Figura 4.40.

Tabla 3.6: Características de computadora a utilizar.

Características de computadora a utilizar.	
Modelo.	ASUS-K46CB
Procesador.	Intel(R) Core (TM) i5-3337U 1.8 GHz
Memoria RAM.	16 GB
Tipo de Sistema.	Sistema operativo de 64 bits

La computadora a utilizar cumple con los requerimientos mínimos de LabVIEW [35], el software requerido para utilizar las tarjetas de adquisición de datos marca National Instruments.

Por último, también será necesaria una fuente de voltaje para la implementación del sistema de adquisición de datos, la cual proporcionará alimentación a los sensores a utilizar. Su voltaje de entrega deberá estar entre el rango de 9 – 32 Volts, debido a los voltajes de alimentación de los sensores de presión y acelerómetros.

CAPÍTULO 4 CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES Y DISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS.

Al inicio de este capítulo se da una introducción al capítulo en cuestión. Dentro de la segunda parte se hace mención y descripción de la propuesta de caracterización de los componentes del sistema de frenado dividida en tres partes: Primera parte, en él se describe el diseño de experimentos para cada válvula, manguera y conector para medir su respuesta en aplicación y liberación de manera aislada. Segunda parte, se describe el diseño de una mesa de pruebas para el ensamble de componentes a caracterizar. Tercera parte se menciona a detalle de lo que conlleva el diseño de un sistema de adquisición de datos para la obtención de curvas de presión a través de tiempo de los componentes en diferentes configuraciones. También se hace mención y descripción del hardware y software que es necesario para el punto anterior.

Posteriormente se discuten diversos puntos que deben ser considerados para realizar la caracterización de los componentes, dependiendo de las capacidades de la metodología propuesta. Por último, se discuten varios puntos de interés que deben ser tomados en cuenta para la implementación de la propuesta de caracterización.

4.1. Introducción.

Dentro del trabajo en conjunto con la empresa NAVISTAR, se determinaron 3 entregables que conforman la propuesta de caracterización de los componentes del sistema de frenado;

1. Diseño de experimentos de pruebas, donde se especifican: conexiones neumáticas, conexiones instrumentación y configuraciones en las que serán analizados cada uno de los componentes del sistema de frenos.
2. Diseño de una mesa de pruebas, en este entregable implementados los experimentos diseñados.
3. Diseño de un sistema de adquisición de datos, donde se programó una aplicación que adquiere los datos para la obtención de las curvas de presión contra el tiempo en un formato adecuado para permitir análisis y procesamientos posteriores.

En este capítulo se describe la metodología implementada para el desarrollo de cada uno de estos entregables y posteriormente una discusión de los puntos a considerar para la futura implementación de ellos.

4.2. Desarrollo de protocolos para la caracterización de componentes del sistema de freno

En la metodología utilizada para el desarrollo de la propuesta de caracterización, se siguieron los pasos enumerados a continuación:

1. El primer paso para el desarrollo de cada uno de los entregables de esta propuesta de caracterización fue; el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo 3 (apartado 3.6). En este se enumeran los puntos a cumplir para el desarrollo de cada entregable de la propuesta de caracterización. Los entregables se llevaron a cabo en el siguiente orden:
 - a) Diseño de experimentos de pruebas.
 - b) Diseño de mesa de pruebas.
 - c) Diseño de sistema de adquisición de datos.
2. Posteriormente, se realizó una discusión de estos entregables. Esto en conjunto con la empresa, para la determinación del cumplimiento de sus necesidades y realizar ajustes si fuese el caso.

En las siguientes secciones, se describen los entregables de la propuesta de caracterización, así como también el cómo deben ser implementados para una validación posterior. Es necesario mencionar que la siguiente información no será mencionada, debido a que es información sensible para su divulgación:

1. Dimensiones de mangueras que son acopladas a puertos de válvulas.
2. Dimensiones de conectores.
3. Números de parte internos de la empresa.
4. Detalles de configuraciones en los que se utiliza cada válvula.

4.2.1. Diseño de Experimentos de Pruebas

Para cada manguera, conector y válvula se desarrolló un experimento de pruebas, donde se especifican los puertos a utilizar y como estos serán configurado. Tomando como referencia el estándar SAE J1859 [30] y los estándares de diseño internos de la empresa NAVISTAR. Esta sección se divide:

1. Descripción de componentes diseñados para llevar a cabo los experimentos.
2. Descripción de cada experimento de pruebas: separado por familias; mangueras, conectores y válvulas
3. Procedimiento de prueba: necesario para llevar a cabo cada experimentación.

4.2.1.1. Componentes especiales diseñados.

Como se especifica en la sección 3.4.2, será necesaria la implementación de un tanque de entrega para llevar a cabo la experimentación con cada válvula. Se diseñó un tanque con ayuda del software de diseño Siemens PLM Nx®. Este el mostrado en la Figura 4.1



Figura 4.1: tanque de entrega diseñado.

Este tanque consta de dos compartimentos, los cuales difieren en el volumen de aire que pueden almacenar. En la Tabla 4.1 se especifican los volúmenes que contienen sus compartimentos.

Tabla 4.1: Capacidades de tanque de entrega.

Especificaciones de tanque a diseñar	
Volumen 1 (Tipo 30)	Volumen 2 (Tipo 36)
89 in^3	135 in^3

Dentro de la Figura 4.2, se especifican los puertos de entrada del tanque, así como también la localización de las capacidades de los dos compartimentos especificados en la Tabla 4.1.

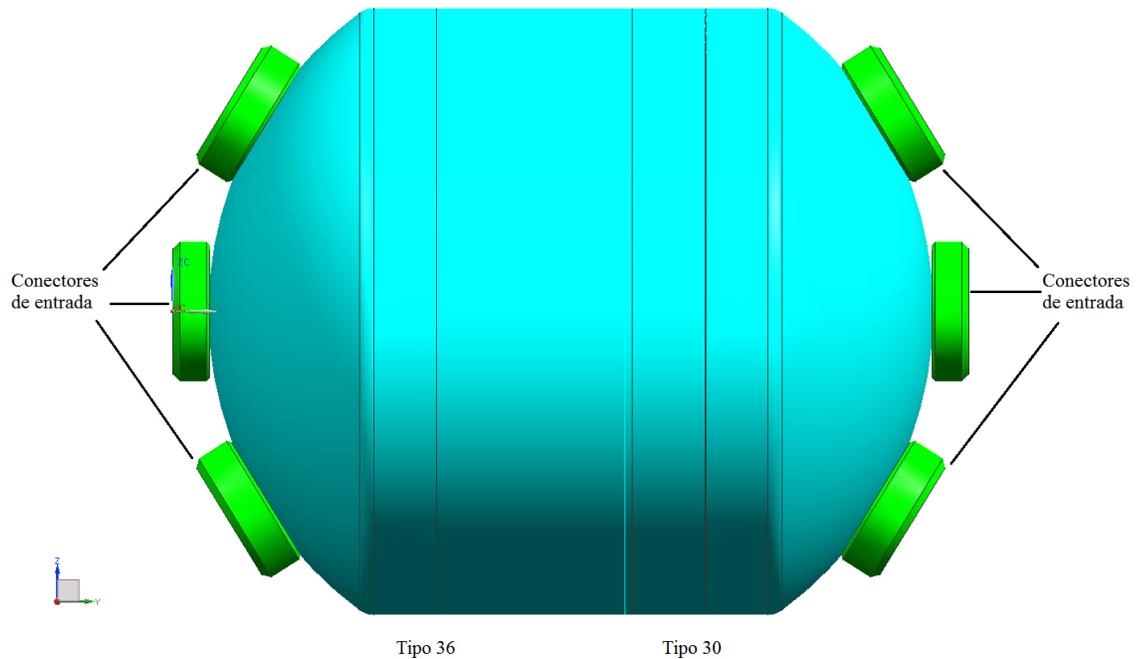


Figura 4.2: Componentes del tanque de entrega diseñado.

4.2.1.2. Diseño de experimentos para la caracterización de mangueras.

Para la caracterización de mangueras se seguirá el diagrama mostrado en la Figura 4.3. Se seguirá este diagrama para los dos tipos de mangueras a caracterizar; mangueras de nailon y caucho.

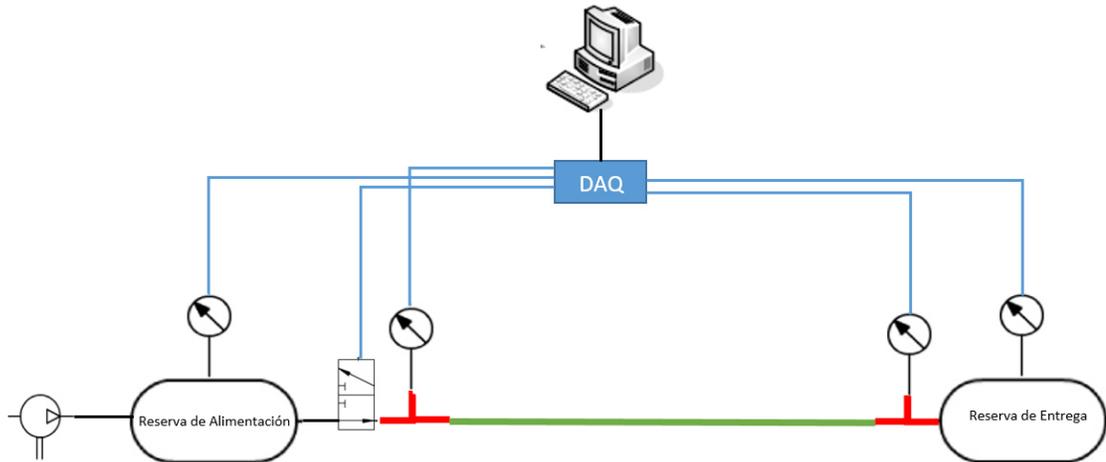


Figura 4.3: Diagrama de conexiones para caracterización de mangueras de Nailon.

La línea de color verde indica la manguera a caracterizar. Los símbolos de los manómetros indican que en esos puntos se medirá presión a lo largo del tiempo cuando se active la válvula de accionamiento. La cual iniciara el flujo de la reserva de alimentación hacia la reserva de entrega. A continuación, se describen las configuraciones que deberán ser implementados estos experimentos:

1. Mangueras de Nailon.

En este tipo de mangueras se seguirá el diagrama de conexiones mostrado en la Figura 4.3.

En la Tabla 4.2 se muestran los diámetros de las mangueras a caracterizar. Cada diámetro de manguera se experimentará con el rango de longitudes de 7 m a 15 m con incrementos de 0.5 m, en total serán 17 longitudes para cada diámetro de manguera.

Tabla 4.2: Diámetros de mangueras de Nailon a caracterizar.

Diámetro	
Diámetro externo (OD)	Diámetro interno (ID)
6.4mm (1/4in)	4.32mm (0.17in)
9.5mm (3/8in)	6.38mm (0.251in)
12.7mm (1/2in)	9.55mm (0.376in)
15.9mm (5/8in)	11.2mm (0.441in)
19.1mm(3/4in)	14.38mm (0.566in)

2. Mangueras de Caucho.

Esta manguera será colocada en el área verde de la Figura 4.3, estas mangueras tienen un diámetro interior de 0.5 *plg*, su única variante es la longitud, esta puede ser observada en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Diámetros y longitudes de mangueras de caucho a caracterizar.

Diámetro interno (in)	Longitud (in)
0.5	88
0.5	69
0.5	52
0.5	33
0.5	15

4.2.1.3. Conectores

En los conectores se diferenciaron 3 tipos, las configuraciones para cada uno se describen a continuación:

9. Conectores Rectos.

Para la implementación de la experimentación con conectores rectos es necesario guiarse en el diagrama de la Figura 4.4.

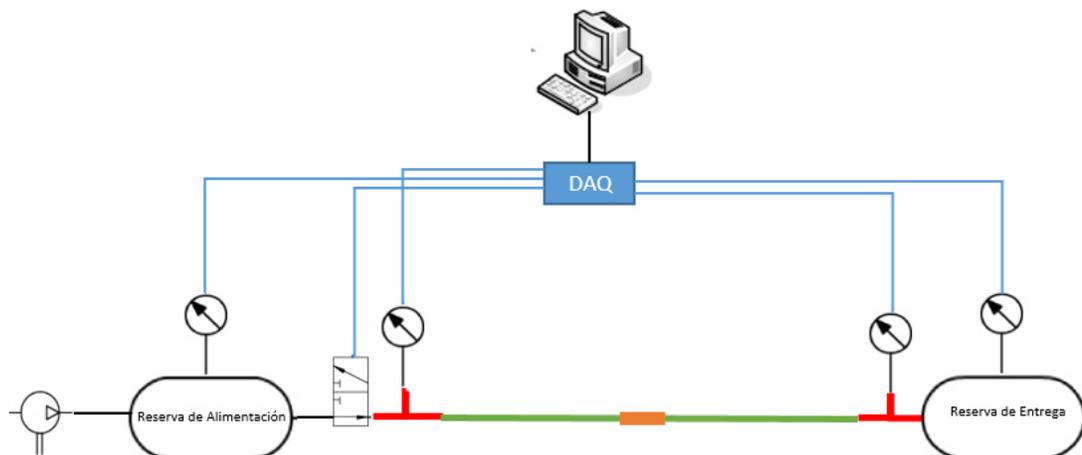


Figura 4.4: Configuración de caracterización de conectores rectos.

- El conector será colocado a mediación de la línea neumática marcada de color verde.
- Se analizarán un total de 22 conectores con 4 longitudes, las cuales son de 2 *m* a 11 *m* en incrementos de 3 *m*.
- Se obtendrán las gráficas de presión contra tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.4.

10. Conectores de 45°.

Para llevar a cabo la caracterización de conectores de 45° es necesario basarse en el diagrama mostrado en la Figura 4.5.

- a) Este conector deberá ser colocado a mediación de la línea neumática.
- d) Se analizarán un total de 16 conectores con 4 longitudes, las cuales son de 2 m a 11 m en incrementos de 3 m.
- e) Se obtendrán las gráficas de presión contra tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.5.

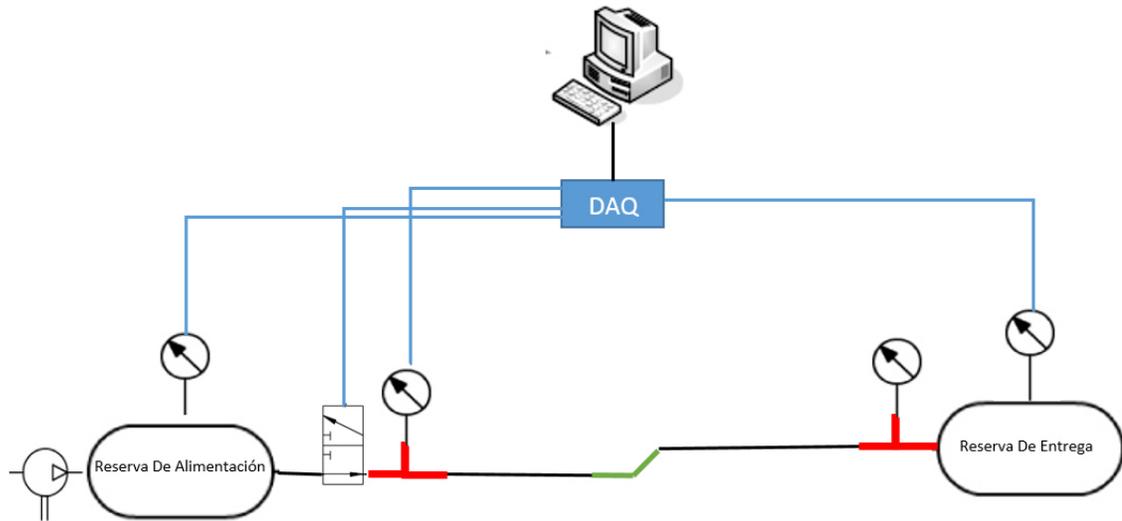


Figura 4.5: Configuración de conexiones para caracterización de conectores de 45°

11. Conectores de 90°

Para llevar a cabo la caracterización de conectores de 90° es necesario basarse en el diagrama mostrado en la Figura 4.6.

- b) Este conector deberá ser colocado a mediación de la línea neumática.
- f) Se analizarán un total de 29 conectores con 4 longitudes, las cuales son de 2 m a 11 m en incrementos de 3 m.
- g) Se obtendrán las gráficas de presión contra tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.6.

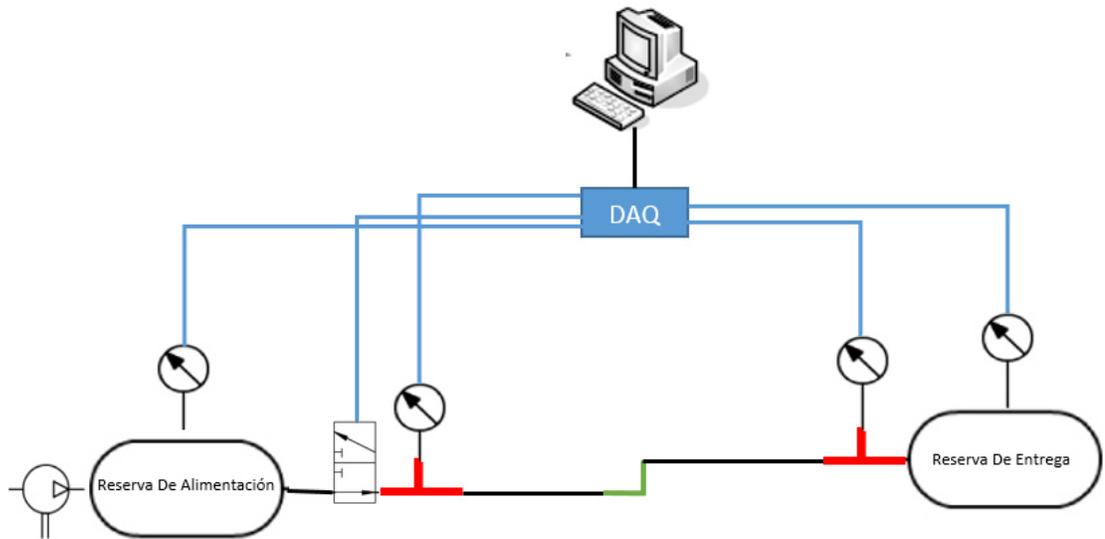


Figura 4.6: Configuración de conexiones para caracterización de conectores de 90°

4.2.1.4. Válvulas

12. Válvula de pie.

Esta válvula será colocada a mediación de dos líneas neumáticas, las cuales simularan los dos circuitos (primario y secundario) del sistema de frenos. se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Solo se caracterizará un modelo de válvula de pie.
- b) El accionamiento del pedal será mediante un pistón neumático, este será instalado junto con la válvula en la mesa de pruebas diseñada.
- c) Medir presión en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.7, en sus etapas de aplicación y liberación.
- d) Se colocará un acelerómetro en el pedal de la válvula de pie, para poder observar las etapas mencionadas en la sección 2.2.1.5.

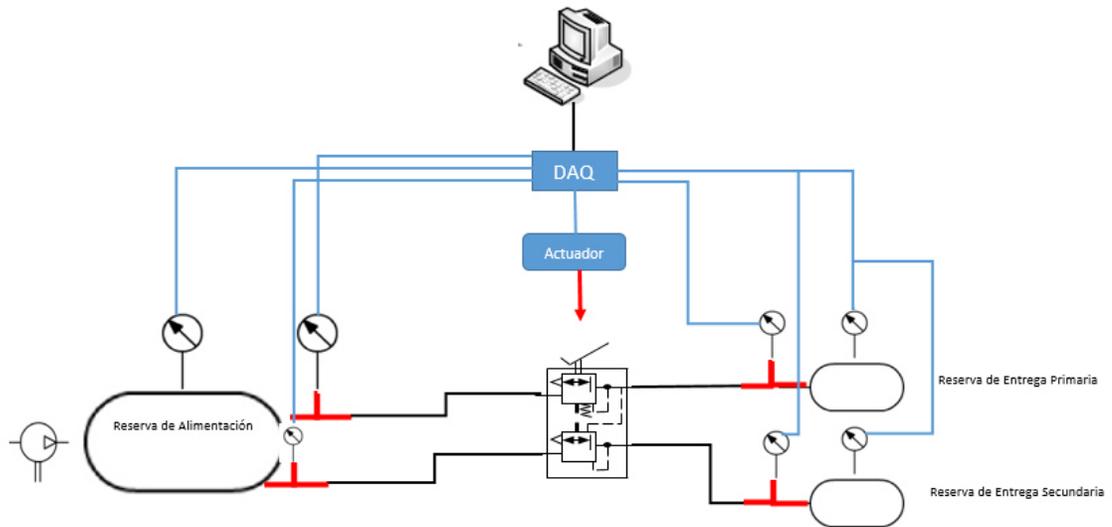


Figura 4.7: Configuración de pruebas de la válvula de pie.

En la Figura 4.8, se muestra un diseño CAD, de la válvula de pie con sus conectores y mangueras necesarias para que esta pueda ser caracterizada. En ella también se especifica cuáles son sus puertos de entrada y salida, también los puertos que deben estar tapados para evitar fugas de aire.

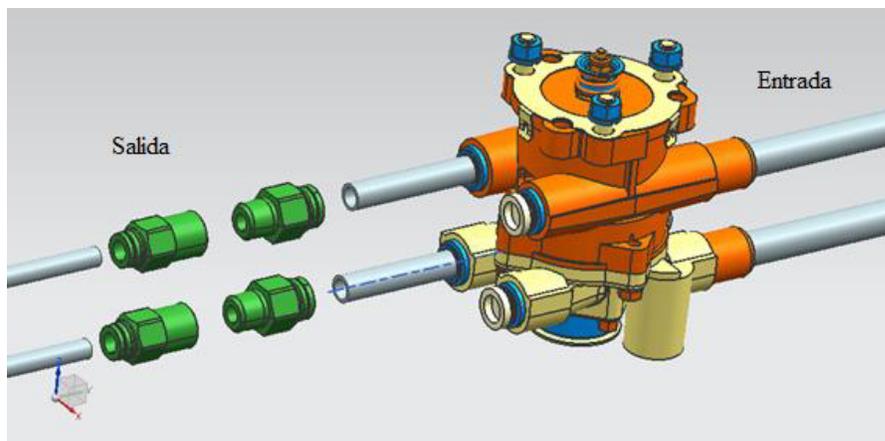


Figura 4.8: Conectores y mangueras en puertos de válvula de pie para su caracterización.

13. Válvula relevadora.

En la Figura 4.9, se muestra el esquema de conexiones para la caracterización de la válvula de relevación, para la implementación de este experimento, se consideraron los siguientes puntos:

- a) Se consideró el análisis para dos modelos de la válvula de relevación; ATR6 y R14.
- b) Ambas válvulas, se analizarán en un total de 10 configuraciones cada una.

- c) La válvula será acoplada a mediación de las líneas neumáticas que intersectan sus puertos de entrada y salida.
- d) El puerto de control se deberá conectar al puerto de control la válvula de accionamiento que se determinó anteriormente. La finalidad de esta es el accionar la válvula de relevación para que esta inicie el flujo a través de sus puertos de entrada y salida.
- e) Se medirá presión a través del tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.9, en sus etapas de aplicación y liberación.

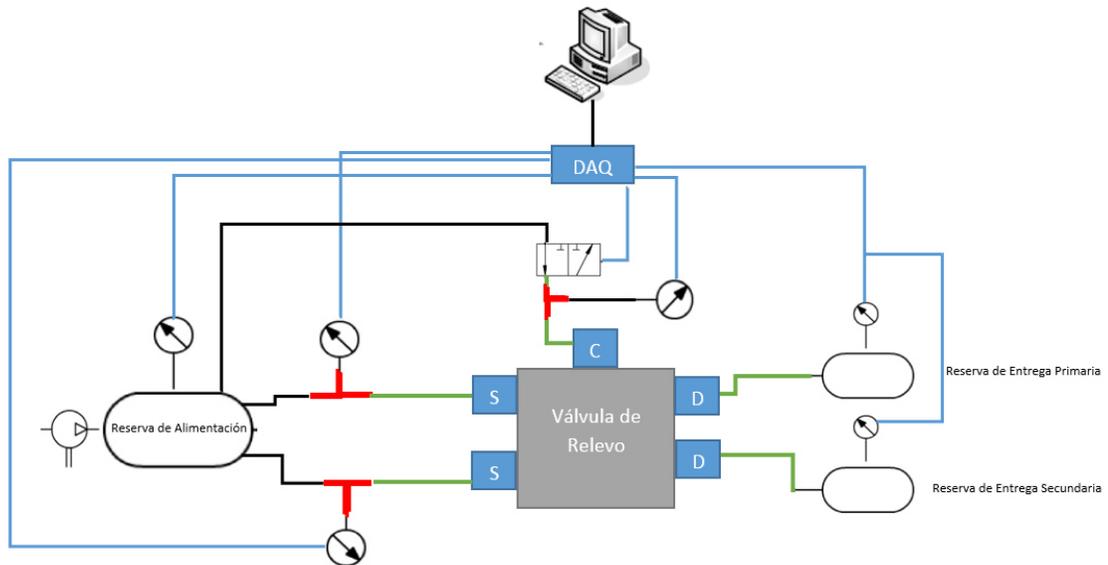


Figura 4.9: Esquema de conexiones de válvula relevadora para su caracterización.

Dentro de la Figura 4.10 y Figura 4.11, se muestran los conectores, mangueras y puertos a utilizar cuando se implemente la experimentación con las válvulas de relevación ATR6 y R14 respectivamente. Ambas válvulas contienen puertos de salida en su parte inferior, en dichos puertos de entrega será necesario el uso de tapones para evitar fugas de aire.

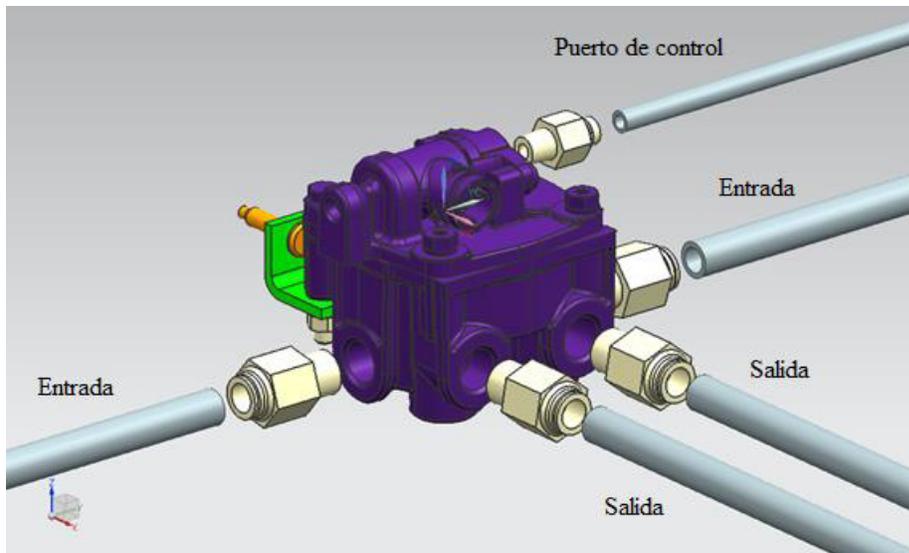


Figura 4.10: Conectores y mangueras en puertos de válvula de relevación ATR6 para su caracterización.

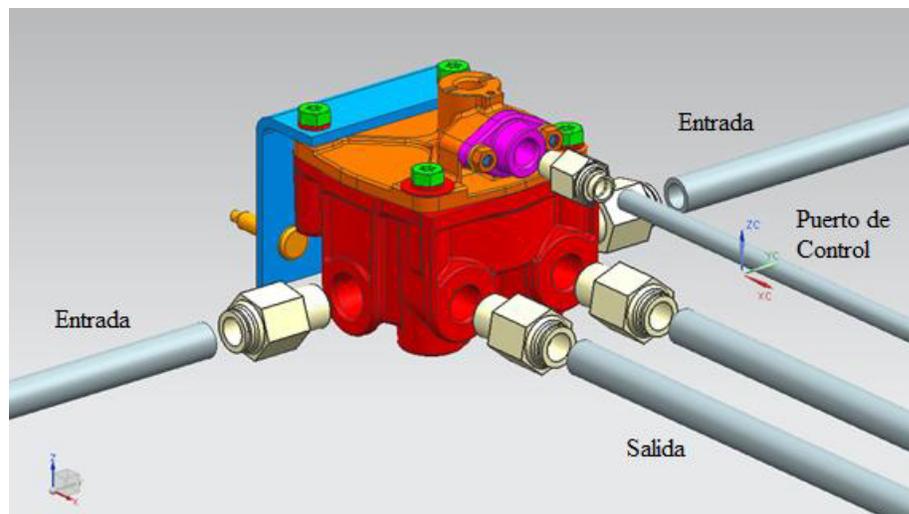


Figura 4.11: Conectores y mangueras en puertos de válvula de relevación R14 para su caracterización.

14. Válvula de liberación rápida.

En la experimentación con la válvula de liberación rápida, será necesaria la implementación del diagrama de conexiones mostrado en la Figura 4.12. En este experimento será necesario considerar lo siguiente:

- a) Se analizarán 2 modelos diferentes de esta válvula.
- b) Cada modelo de válvula de liberación rápida deberá ser analizada en 4 combinaciones diferentes.
- c) La válvula deberá ser colocada a mediación de las líneas neumáticas mostradas en la Figura 4.12.

- d) La válvula de accionamiento será conectada al puerto de control de la válvula de liberación rápida. Esto con la finalidad de accionar flujo a través de la válvula hacia los tanques de entrega.
- e) Se medirá la presión a través del tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.12, en sus etapas de aplicación y liberación.

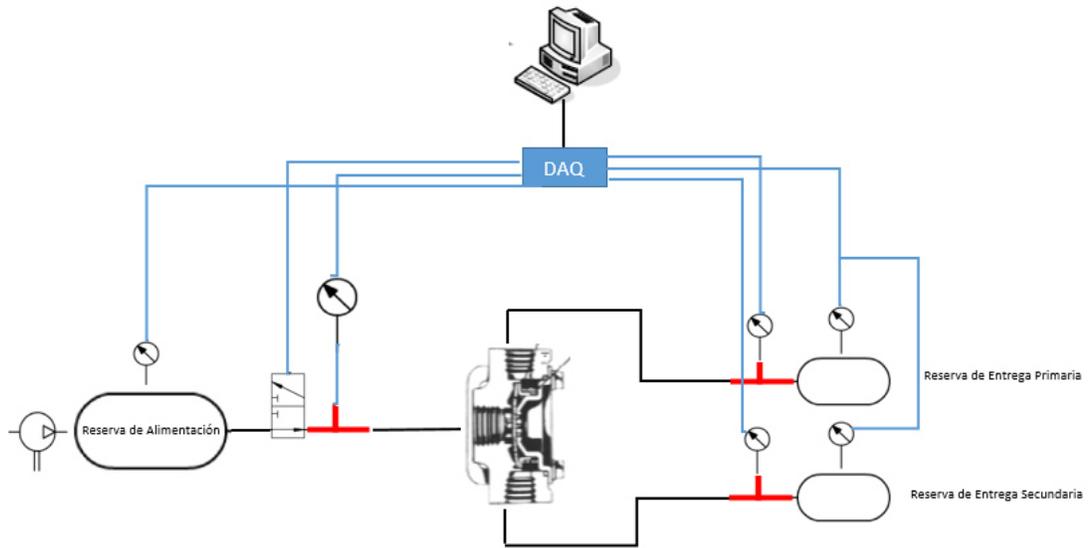


Figura 4.12: Esquema de conexiones de válvula de liberación rápida para su caracterización.

En la Figura 4.13, se muestra la válvula de liberación rápida con los conectores y mangueras necesarias para la caracterización de esta.

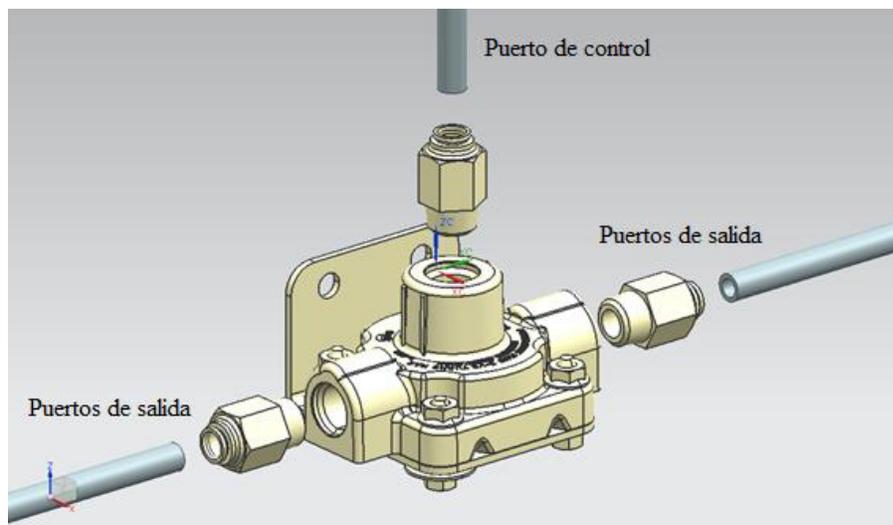


Figura 4.13: Conectores y mangueras en válvula de liberación rápida para su caracterización.

15. Válvula de liberación rápida en línea.

Para llevar a cabo la caracterización de la válvula de liberación rápida, será necesaria la implementación del circuito mostrado en la Figura 4.14 también será necesario considerar los siguientes puntos:

- Solo se analizará un modelo de este tipo de válvula.
- La válvula deberá ser colocada a mediación de la línea neumática mostrada en la Figura 4.14.
- Para iniciar el flujo a través de la válvula será necesaria la implementación de la válvula de accionamiento mencionada anteriormente.
- Se medirá presión en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.14, en sus etapas de aplicación y liberación.

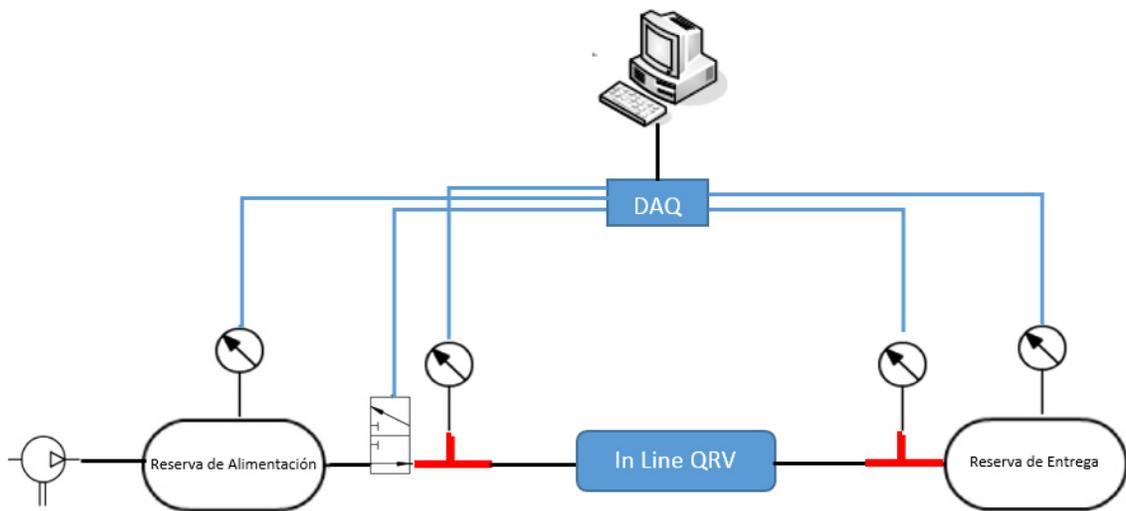


Figura 4.14: Esquema de conexiones de válvula de liberación rápida en línea para su caracterización.

Los conectores y mangueras por utilizar son mostrados en la Figura 4.15, también se especifican sus puertos de entrada y salida de la válvula.

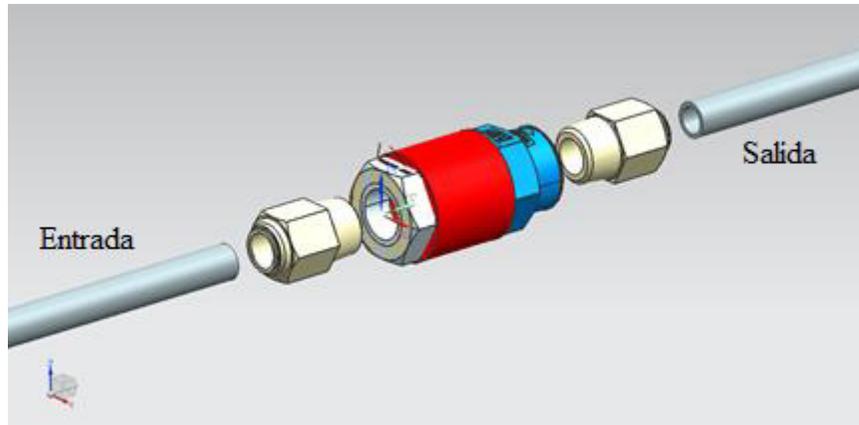


Figura 4.15: Conectores y mangueras en válvula de liberación rápida en línea para su caracterización.

16. Válvula de control de frenos de estacionamiento.

Para la implementación de este experimento se deberán respetar las conexiones mostradas en el diagrama de la Figura 4.16. y también considerar los siguientes puntos:

- Solo se analizará un modelo de este tipo de válvula.
- La válvula deberá ser colocada a mediación de la línea neumática mostrada en la Figura 4.16.
- En el botón de la válvula deberá ser necesario acoplar un acelerómetro, para identificar cuando esta es accionada.
- Se deberá medir presión en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.16. en las etapas de aplicación y liberación.

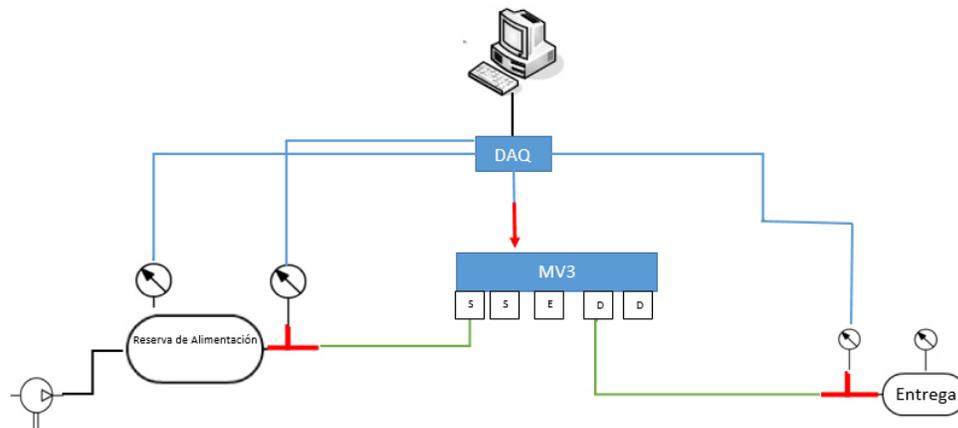


Figura 4.16: Esquema de conexiones de válvula de control de frenos de estacionamiento para su caracterización.

En la Figura 4.46, se especifican los conectores y mangueras necesarios para la implementación de este experimento. Los puertos del control de frenos de tráiler deberán ser tapados para evitar fugas de aire.

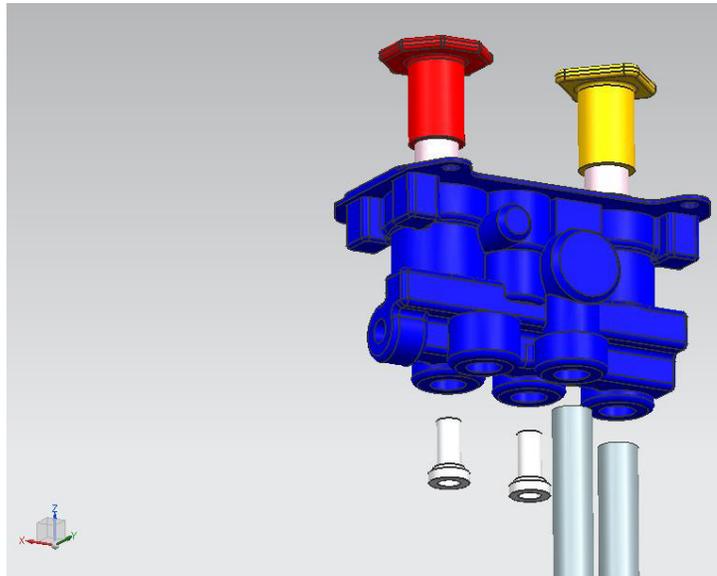


Figura 4.17: Conectores y mangueras en válvula de control de frenos de estacionamiento para su caracterización.

17. Válvula de frenos de resorte.

Dentro de esta válvula se encuentran dos modelos; SR-7 y R-7. La diferencia entre ellos es que válvula SR-7 contiene un puerto de control para que esta sea activada. Por consecuencia se diseñó un experimento para cada válvula.

- SR-7

Para la implementación de este experimento, es necesario el respetar las conexiones de la Figura 4.47, donde se tomarán a consideración los siguientes puntos:

- a) Solo se analizará un modelo de este tipo de válvula.
- b) Se deberá conectar la válvula de accionamiento en el puerto de control de la válvula SR-7, para que ocurra flujo a través de la válvula SR-7 cuando la válvula de accionamiento sea activada.
- c) La válvula SR-7 deberá ser colocada a mediación de la línea neumática que está conectada a sus puertos de entrada y salida.
- d) Se medirá presión en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.18, en las etapas de aplicación y liberación de la válvula.

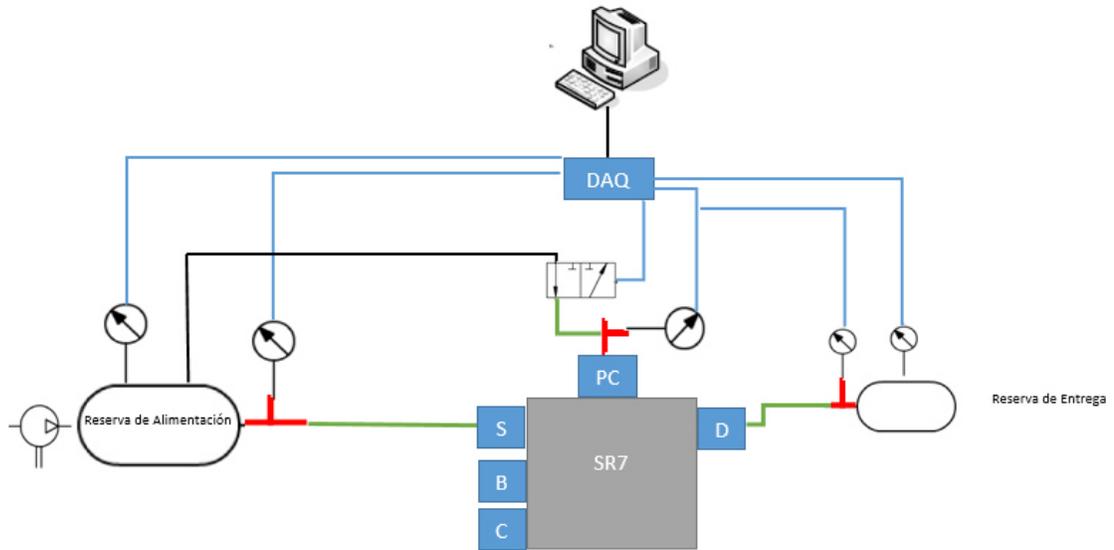


Figura 4.18: Esquema de conexiones de válvula SR-7 para su caracterización.

Dentro de la Figura 4.19, se especifican los conectores y mangueras a utilizar para la implementación de este experimento. También se señalan los puertos de la válvula a utilizar dentro de su caracterización.

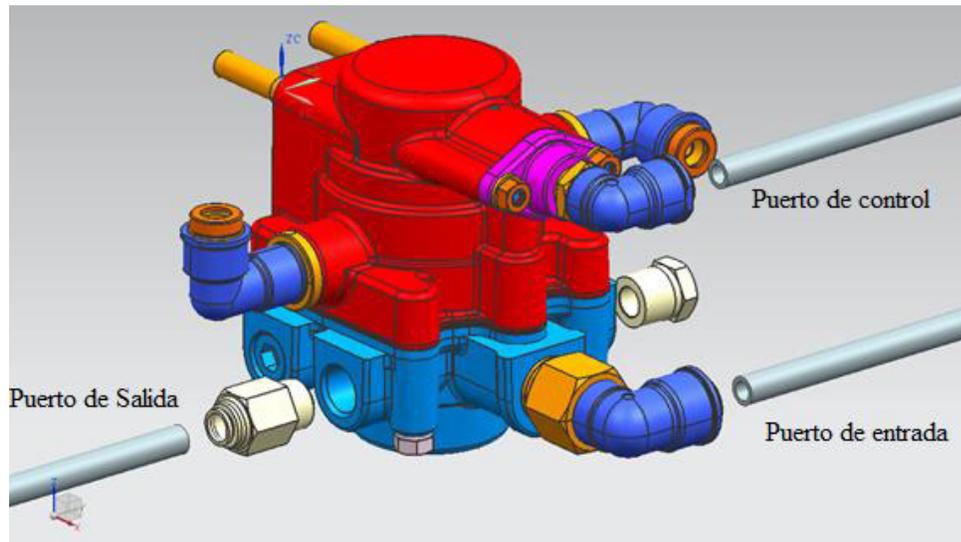


Figura 4.19: Conectores y mangueras en válvula SR-7 para su caracterización.

- R-7

En la Figura 4.20, se muestra el esquema de conexiones necesario para la caracterización de la válvula R-7, es necesario mencionar los siguientes aspectos para su implementación:

- Solo se analizará un modelo de esta válvula.
- La válvula será conectada a mediación de la línea neumática a analizar.

- c) El inicio del flujo de aire a través de la válvula R-7, se realizará mediante la implementación de la válvula de accionamiento.
- d) Se medirá presión a través del tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.20, en las etapas de liberación y aplicación de la válvula R-7.

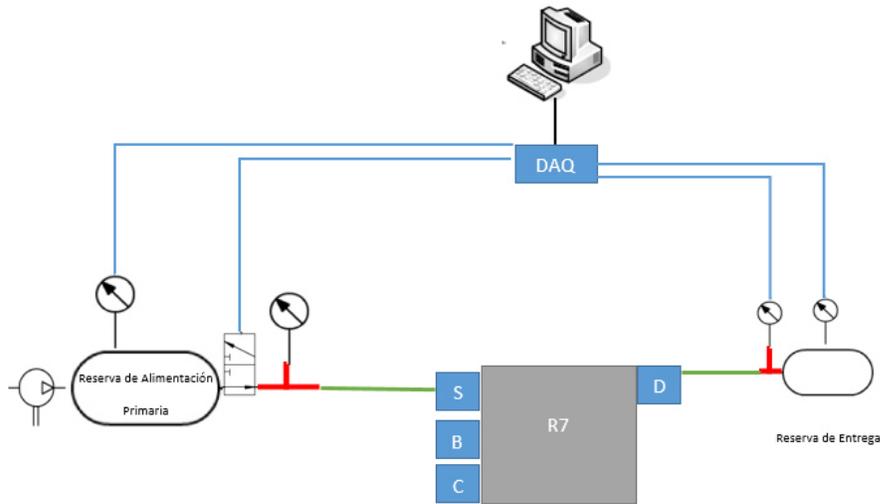


Figura 4.20: Esquema de conexiones de válvula R-7 para su caracterización.

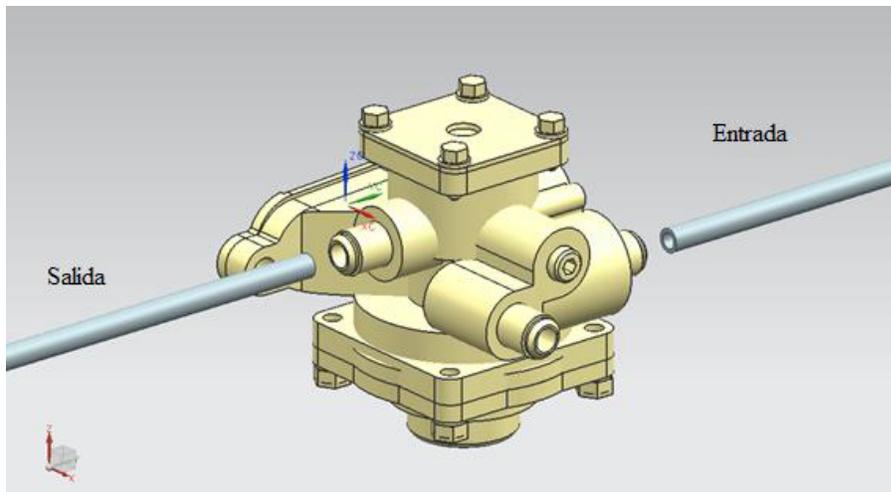


Figura 4.21: Conectores y mangueras en válvula R-7 para su caracterización.

En la Figura 4.21, se muestran las mangueras y puertos a utilizar de la válvula R-7, cuando se lleva a cabo su caracterización.

18. Válvula solenoide.

Para la caracterización de la válvula solenoide será necesario implementar el esquema de conexiones mostrado en la Figura 4.22. y al mismo tiempo considerar los siguientes puntos:

- Solo se analizará un modelo de este tipo de válvula.
- La válvula solenoide deberá ser acoplada a mediación de la línea neumática mostrada en la Figura 4.22.
- El accionamiento del flujo a través de ella deberá ser realizado mediante un interruptor eléctrico.
- Se medirá presión a través del tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.22.

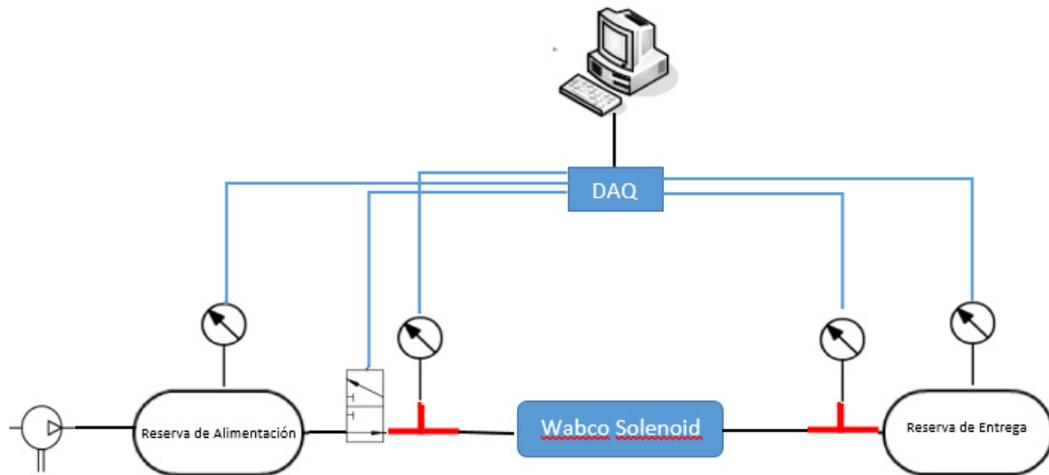


Figura 4.22: Esquema de conexiones de válvula solenoide para su caracterización.

En la Figura 4.23, se especifican los puertos de entrada y salida de la válvula solenoide para su caracterización. Así como también las mangueras y conectores necesarios.

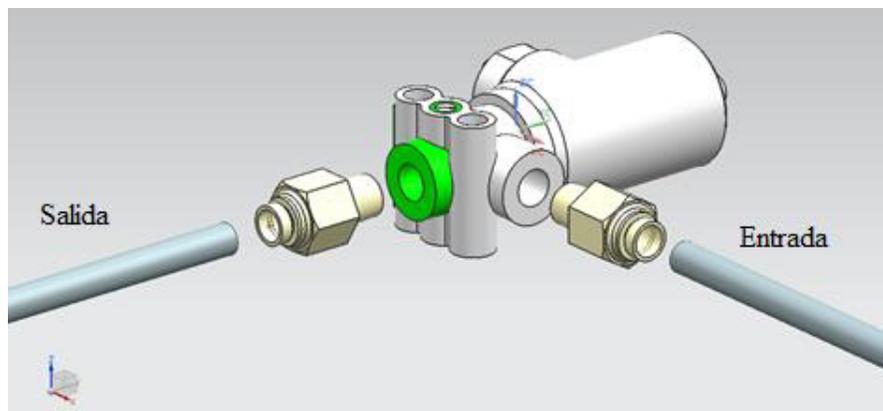


Figura 4.23: Conectores y mangueras en válvula solenoide para su caracterización.

19. Válvula TP5.

En la Figura 2.21, se especifican las conexiones necesarias para implementar la caracterización de la válvula TP5, también es necesario considerar los siguientes puntos:

- Solo se analizará un modelo de esta válvula.
- La válvula será acoplada a mediación de la línea neumática mostrada en la Figura 2.21.
- El accionamiento de dicha válvula será por medio de su puerto E, el cual será accionado por medio de la válvula de accionamiento.
- Se medirá presión a través del tiempo en los puntos marcados por los manómetros de la Figura 4.24. en las etapas de aplicación y liberación de la válvula TP5.

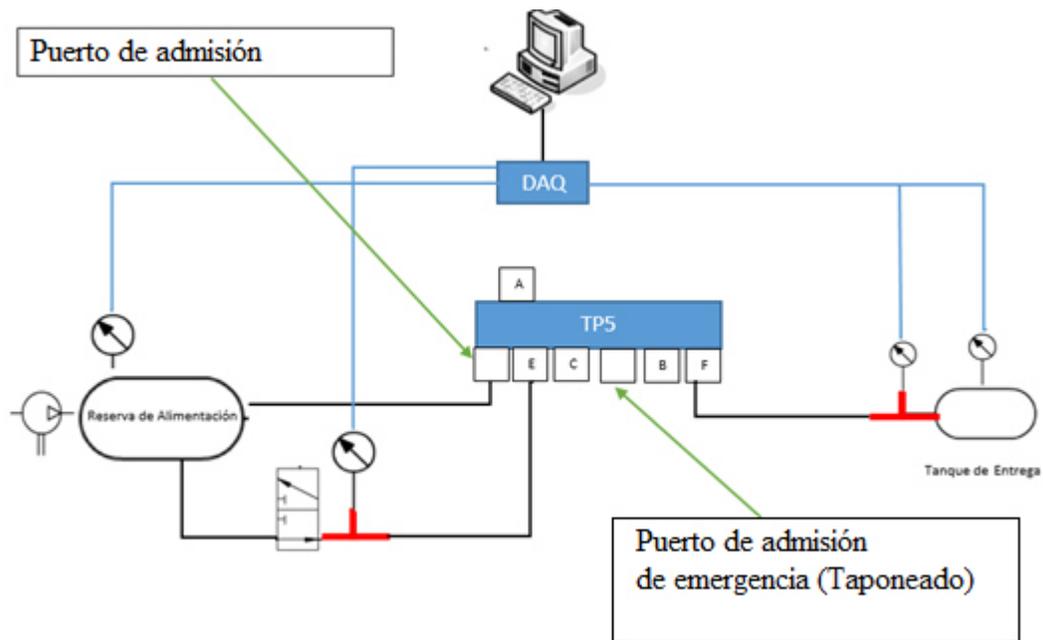


Figura 4.24: Esquema de conexiones de válvula TP5 para su caracterización.

En la Figura 4.25, se puede observar los conectores a utilizar para la implementación de este experimento, así como también las mangueras y puertos a utilizar.

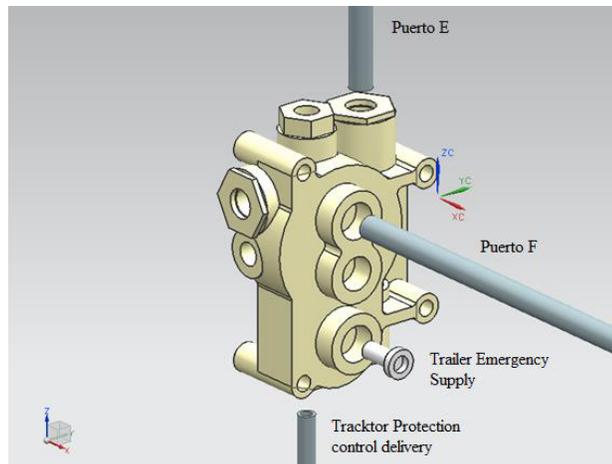


Figura 4.25: Conectores y mangueras en válvula TP5 para su caracterización.

4.2.1.5. Procedimiento de experimentación.

Los procedimientos por seguir para la obtención de curvas de presión de los componentes se dividieron en dos partes. Los cuales son descritos a continuación:

- Mangueras y Conectores:

Para estos componentes se seguirán los pasos enumerados a continuación:

20. Implementar el diagrama de conexiones del componente a analizar, dentro de la mesa de pruebas fabricada.
21. Realizar la instrumentación del sistema de adquisición de datos.
22. Aplicar presión en la línea neumática a analizar, esto se hará accionando la válvula de control de flujo. Al mismo tiempo medir y grabar la presión en los puntos especificados por el diagrama de conexiones del componente en cuestión.
23. Medir la presión en los puntos establecidos por el diagrama de conexiones del componente a analizar de manera continua, los incrementos en los que se debe de medir y grabar no deben de exceder los 0.2 psi .
24. Cuando la presión de entrada llega a 100 psi , se debe mantener presión en la válvula por 1 segundo o hasta que la presión se estabilice.
25. Liberar la presión en el puerto de entrada, desactivando la válvula de control de flujo. Al mismo tiempo medir y grabar en los puntos a analizar, hasta que estos lleguen a tener 0 psi .

- Válvulas

Dependiendo del tipo de válvula a analizar, será el procedimiento por seguir. Esta categorización se estableció en el capítulo anterior, a partir del estándar de pruebas SAE J1859. Esta categorización puede ser observada en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Categorías de válvulas a analizar.

Válvula	Configuración de estándar SAE J1859
Válvula de Pie	Válvula pilotada mecánicamente
Válvula de control de frenos de estacionamiento	
Válvula relevadora	Válvula pilotada neumáticamente
Válvula de frenos de resorte	
Válvula de liberación rápida	Válvula sin pilotaje
Válvula de liberación rápida en línea	
Válvula solenoide	
Válvula TP5	

a) Válvula pilotada mecánicamente.

Dentro de esta categoría de válvulas se encuentra la válvula de pie y la válvula de control de frenos de estacionamiento. Cuando se llegue a analizar dichas válvulas, se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Ensamblar la configuración de la válvula a analizar, dentro de la mesa de pruebas.
2. Realizar la instrumentación del sistema de adquisición de datos.
3. Realizar la calibración de los sensores, con ayuda de la aplicación de adquisición de datos.
4. Ciclar la válvula con la que se experimentara tres veces sin grabar los datos de presión.
5. Aplicar la fuerza una fuerza en el pilotaje mecánico de la válvula.
6. Medir y grabar: (1) los datos de aceleración de entrada en el pilotaje mecánico. (2) presión en los puertos de entrada y salida del circuito primario y secundario de la válvula de pie. Las presiones deben ser medidas y grabadas en incrementos que no excedan 0.2 psi
7. Cuando la presión de salida del circuito 100 psi y el desplazamiento máximo especificado. Se deberá mantener la fuerza de entrada por lo menos 1 segundo, o hasta que la presión del circuito se estabilice.
8. Liberar la fuerza de entrada en el pilotaje mecánico. Al mismo tiempo medir y grabar la aceleración en el pilotaje mecánico y las presiones en los puertos de salida de la válvula hasta que la presión en los volúmenes de entrega llegue a 0 psi y la fuerza aplicada al vástago sea de 0 lb .

b) Válvula pilotada neumáticamente.

Dentro de este tipo de válvulas se encuentran aquellas que cuentan con un puerto de control para accionar su funcionamiento. Para la medición y caracterización de este tipo de válvulas se establecieron los siguientes pasos:

1. Ensamblar la configuración de la válvula a analizar, dentro de la mesa de pruebas. Para este tipo de válvulas es necesaria la implementación de la válvula de accionamiento en el puerto de control.
2. Realizar la instrumentación del sistema de adquisición de datos.
3. Realizar la calibración de los sensores, con ayuda de la aplicación de adquisición de datos.
4. Ciclar la válvula con la que se experimentara tres veces sin grabar los datos de presión, esto quiere decir que se debe forzar la válvula para que entre en sus fases de aplicación y liberación. Para posteriormente iniciar con la grabación de datos.
5. Aplicar presión en el puerto de control de la válvula, esto se hará accionando la válvula de accionamiento. Al mismo tiempo medir y grabar la presión en los puertos de control, entrada y salida de la válvula.
6. Medir la presión en puntos marcados en el diagrama de conexiones de válvula de manera continua, los incrementos en los que se debe de medir y grabar no deben de exceder los 0.2 psi .
7. Cuando la presión en los puertos de salida llegue a 100 psi , se debe mantener presión en la válvula por 1 segundo o hasta que la presión se estabilice.
8. Liberar la presión en el puerto de control, al mismo tiempo mida y grabe la presión en los puertos de entrada, salida y control, hasta que estos lleguen a tener 0 psi .

c) Válvulas sin pilotaje.

Para esta categoría se establecieron las válvulas que no necesitan de algún pilotaje para activar su funcionamiento.

Estos son los pasos a seguir para su caracterización:

1. Ensamblar la configuración de la válvula a analizar, dentro de la mesa de pruebas.
2. Realizar la instrumentación del sistema de adquisición de datos.
3. Realizar la calibración de los sensores, con ayuda de la aplicación de adquisición de datos.
4. Para activar el flujo a través de la línea neumática será necesaria la implementación de la válvula de accionamiento.
5. Ciclar la válvula con la que se experimentara tres veces sin grabar los datos de presión.
6. Aplicar presión en los puertos de entrada de la válvula, esto se hará accionando la válvula de control de flujo. Al mismo tiempo medir y grabar la presión en los puertos de entrada y salida de la válvula.

7. Medir la presión en los puntos especificados en el diagrama de conexiones de la válvula de manera continua, los incrementos en los que se debe de medir y grabar no deben de exceder los 0.2 *psi*.
8. Cuando la presión en las reservas de salida llegue 100 *psi*, se debe mantener presión en la válvula por 1 segundo o hasta que la presión se estabilice.
9. Liberar la presión en las reservas de entrega, desactivando la válvula de control de flujo de la Figura 3.6. Al mismo tiempo medir y grabar la presión en los puntos especificados por el diagrama de conexiones de la válvula en cuestión, hasta que estos lleguen a tener 0 *psi*.

4.2.2. Diseño Conceptual de Mesa de Pruebas

Como se mencionó anteriormente, en el Capítulo 1 de este documento, se analizará cada componente del sistema de frenos de manera aislada.

Para esto fue necesario el diseño de una mesa de pruebas donde sea posible la implementación de los experimentos diseñados. El diseño CAD de la mesa de pruebas fue realizado con ayuda del Software Siemens Nx 7.5®, proporcionado por la empresa NAVISTAR.

El espacio disponible para la instalación de la mesa de pruebas fue un factor limitante para la determinación de las dimensiones de la mesa y sobre todo de la manera en atacar el diseño, ya que fue necesario el analizar mangueras con rangos de longitudes de 2 a 15 m. Por este motivo se optó por diseñar dos mesas móviles, una con el tanque de alimentación y la otra con los soportes necesarios para montar los componentes con el tanque de entrega.

4.2.2.1. Módulo 1

El primer módulo diseñado es la mesa que soporta el tanque de alimentación, este módulo se observa en la Figura 4.26. Los PTR's utilizados para la estructura son de 2 x 2 in. El material de la placa que sostiene los brackets del tanque de alimentación es de madera, con medidas de 1050 x 800 mm con 5 mm de espesor.

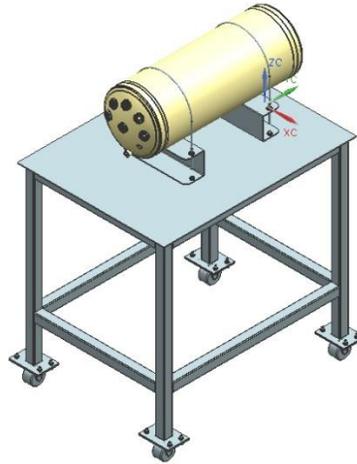


Figura 4.26: Vista Isométrica del Módulo 1 de la Mesa de Pruebas.

En la Figura 4.27, se muestra la vista lateral del módulo 1 de la mesa de pruebas, aquí se pueden observar los brackets que sirven para soportar el peso del tanque de aire. El material de estos soportes es acero de 4 mm de espesor. Los cables de sujeción del tanque son especiales para mantener el tanque inmóvil una vez que son instalados. Las ruedas instaladas en las patas del módulo son de 3 in de diámetro las cuales soportan una carga máxima de 113 lb cada una, estas contienen freno para evitar que el módulo se mueva cuando se realicen mediciones.

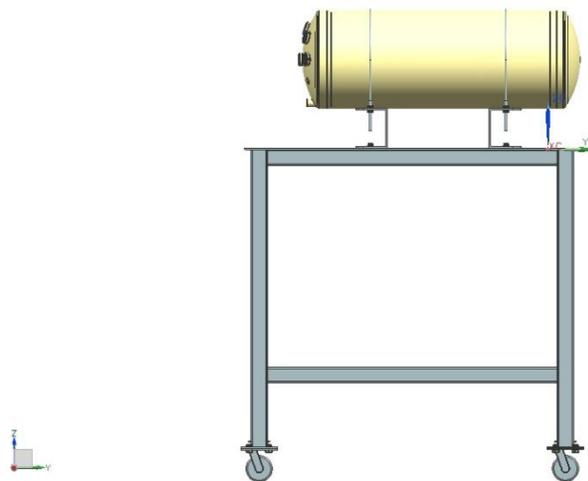


Figura 4.27: Vista Lateral de Modulo 1 de la mesa de pruebas.

Para llenar el tanque de alimentación del módulo en cuestión se conectará a un compresor de aire, situado en el taller de ingeniería de NAVISTAR.

4.2.2.2. Módulo 2

El módulo 2 mostrado en la Figura 4.28, tiene como objetivo el montar los tanques de entrega y todas las válvulas a analizar.

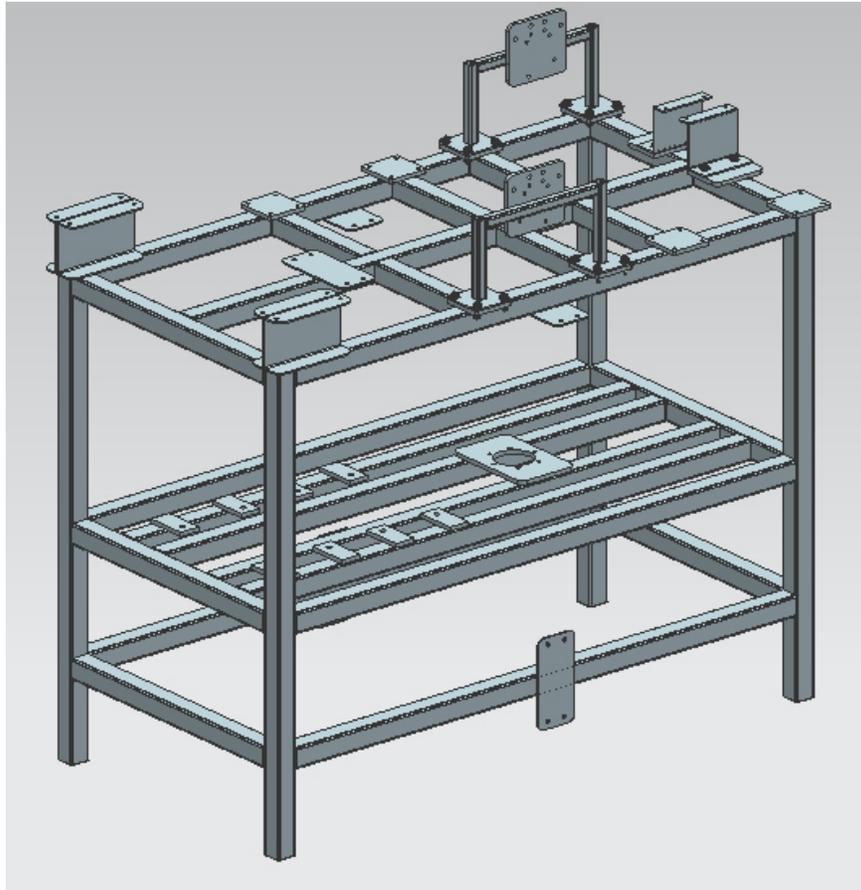


Figura 4.28. Vista isométrica del módulo 2 de la mesa de pruebas.

Como las válvulas mencionadas anteriormente tienen tornillos o barrenos según sea el caso, para facilitar su instalación en el camión. A raíz de esto se diseñó una placa de acero con los diámetros de los tornillos que tienen todas las válvulas a analizar. Esta placa se muestra en la Figura 4.29.

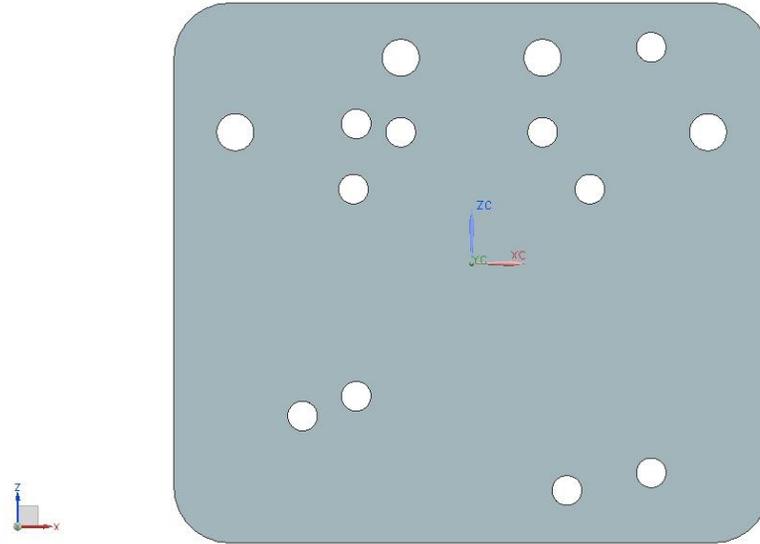


Figura 4.29: Placa para montura de Válvulas.

Esta placa fue soldada en un subensamble dentro del módulo 2, el cual se muestra en la Figura 4.30. Este cuenta con barrenos en sus bases para el ensamble en diferentes puntos del módulo 2 de la mesa de pruebas, con el objetivo de facilitar la holgura de las mangueras que son conectadas a las válvulas.

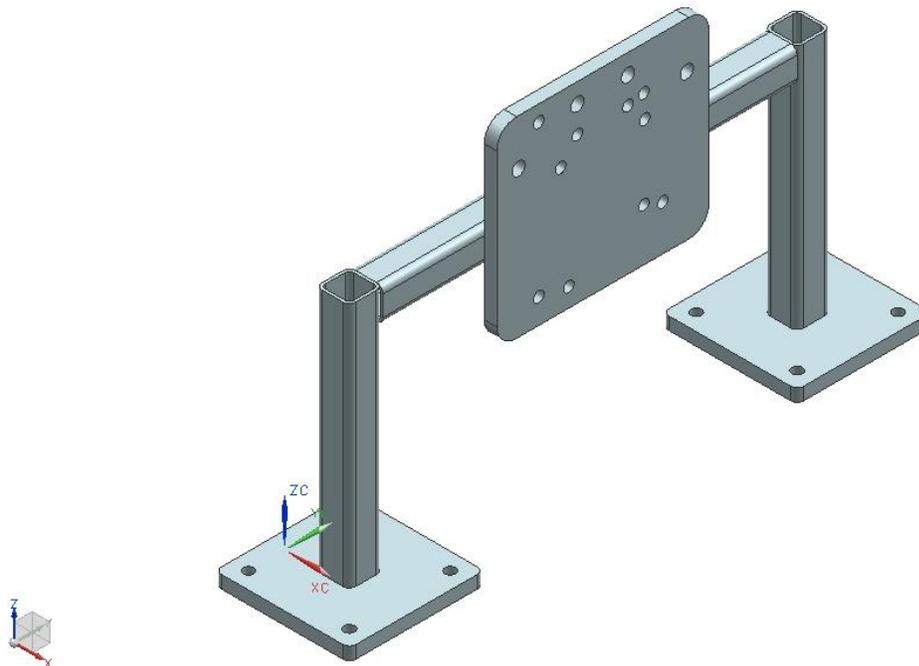


Figura 4.30: Bracket para montaje de válvulas.

En la Figura 4.31, se encuentran circulos de color rojo los puntos en los que se ensamblaría el bracket para montaje de las válvulas a analizar.

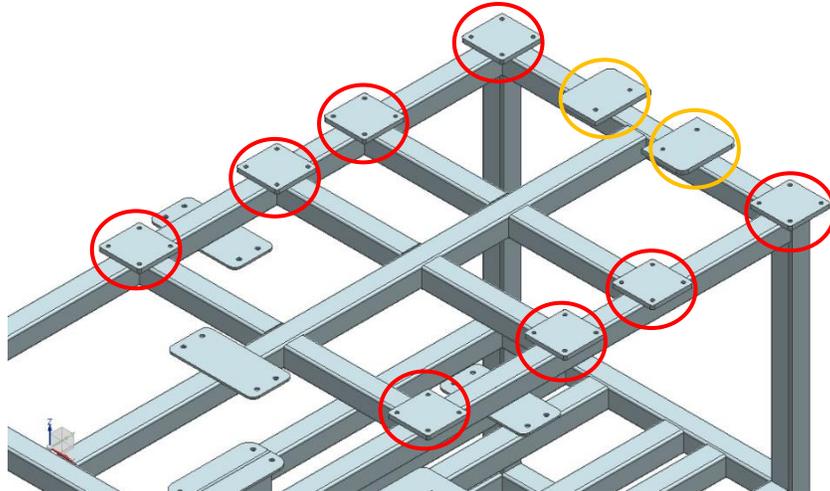


Figura 4.31: Puntos de ensamblaje para Bracket de Válvulas.

Por ejemplo, si se quisiera montar una válvula de relevación en el módulo 2, se instalaría el bracket para las válvulas en cualquiera de los puntos marcados por círculos rojos. La válvula se montaría en la placa soldada en el bracket, como se observa en la Figura 4.32.

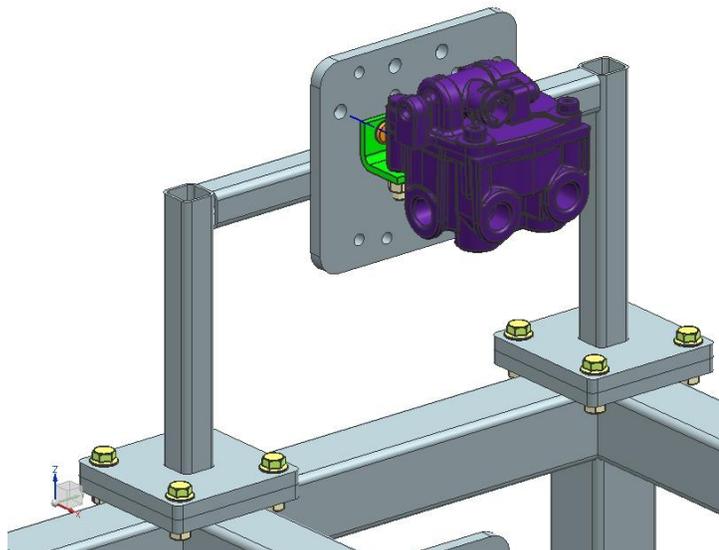


Figura 4.32: Montura de Válvula Relay en Modulo 2 de banco de Pruebas.

Para la válvula de pie y la válvula de frenos de estacionamiento, se diseñó un área especial para su montura respectiva. Las áreas circunscritas de color amarillo sirven para el

ensamble de los brackets diseñados para montar la válvula de frenos de estacionamiento dentro de la Figura 4.31, la válvula de frenos de estacionamiento ya ensamblada se puede observar en la Figura 4.33.

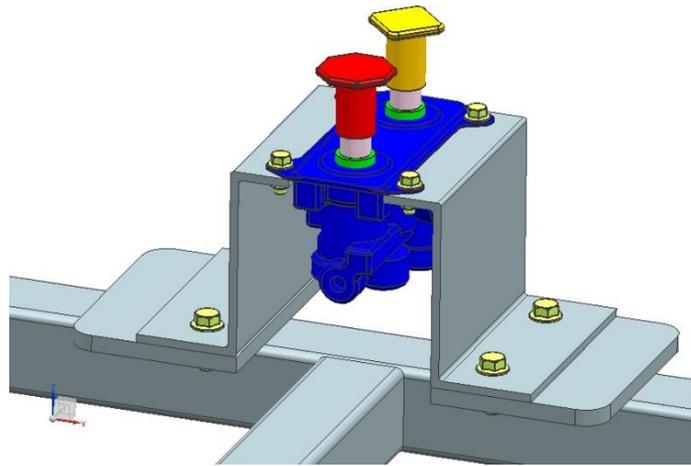


Figura 4.33: Ensamble de Válvula de Frenos de Estacionamiento en Modulo 2.

Para ensamblar la válvula de pie para su análisis se le reservó un espacio en la mesa solo. Debido a que, para el accionamiento de flujo a través de esta, es necesario una buena repetitividad la razón en la que es aplicada la fuerza (40 N/s [30]) en el pedal. Por lo que, para asegurar dichos valores mencionados en la fuerza aplicada en el pedal, se utilizó un pistón neumático montado en un ensamble de perfiles de aluminio con un pistón neumático encargado de actuar sobre el pedal de la válvula de pie para su activación. El espacio destinado para la válvula de pie junto con el pistón se observa en la Figura 4.34, donde los círculos de color rojo indican los puntos donde debe ser ensamblado el pistón y el círculo color amarillo marca específica el área donde debe ser ensamblada la válvula de pie.

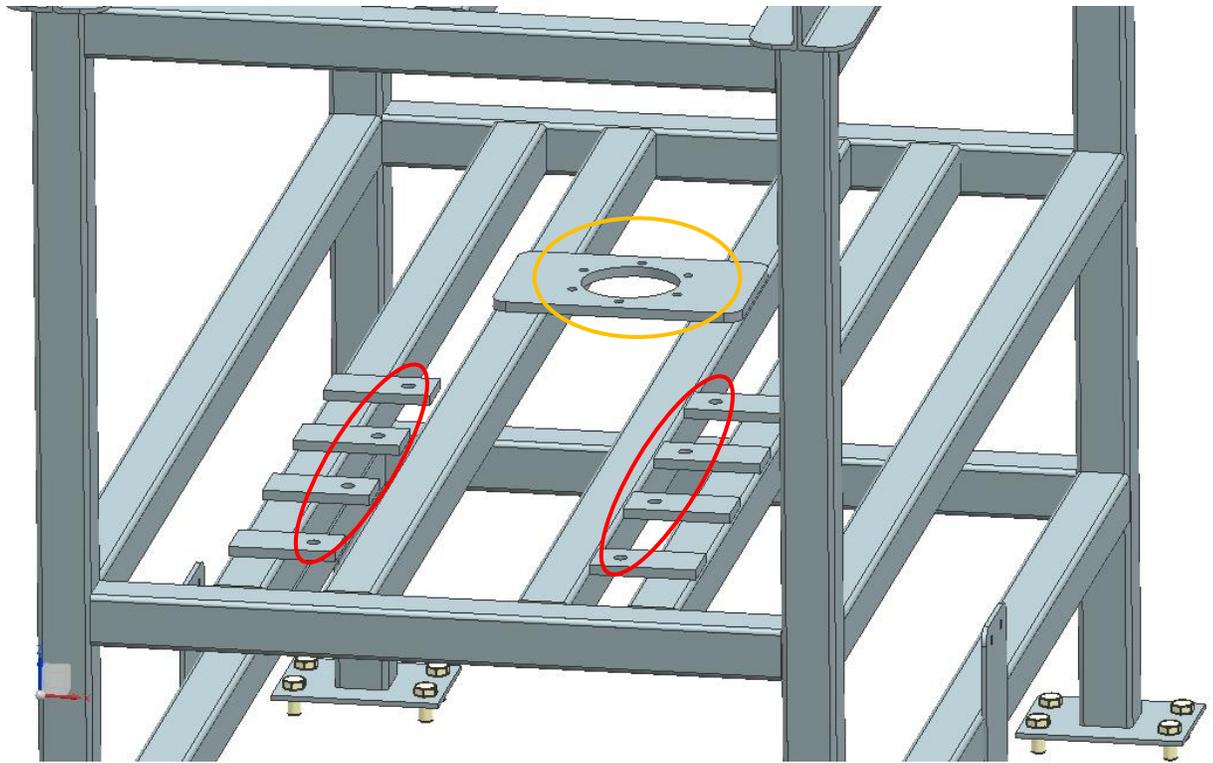


Figura 4.34: Área Designada para Ensamble de válvula de pie dentro del módulo 2.

En la Figura 4.35 se muestra ensamblada la válvula de pie en el espacio destinado para esta, a su izquierda se ensamblo la estructura que sostiene el pistón que acciona la válvula de pie.

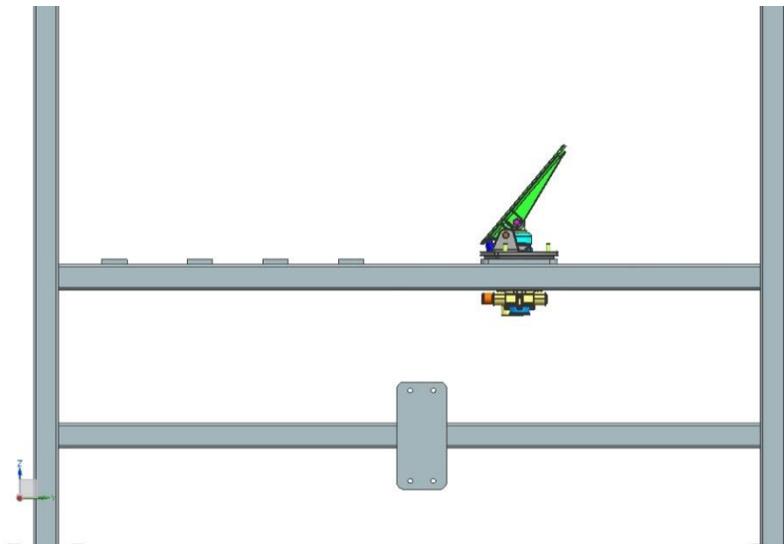


Figura 4.35: Válvula de pie ensamblada en el área destinada dentro del módulo 2 de la mesa de pruebas.

Dentro de este módulo se montará el tanque de entrega diseñado, el cual es descrito en la sección 4.2.1.1. Para su montaje se diseñaron e implementaron soportes en diferentes áreas del módulo 2 de la mesa de pruebas. En la Figura 4.36 se pueden observar los tanques sobre los soportes principales de la mesa.

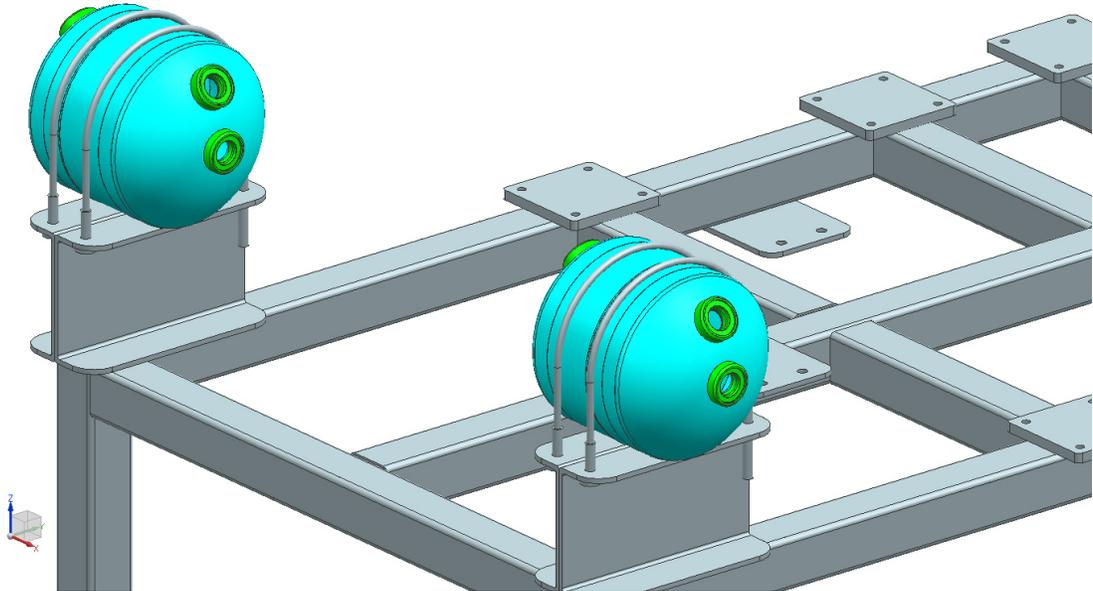


Figura 4.36: Tanques de entrega montados en mesa de pruebas.

En diversas áreas del módulo se diseñaron e implementaron soportes, con la finalidad de garantizar la holgura de las mangueras y facilitar las conexiones cuando se analice un componente. En la

Figura 4.37 se pueden observar los puntos de montura para el tanque de entrega diseñado.

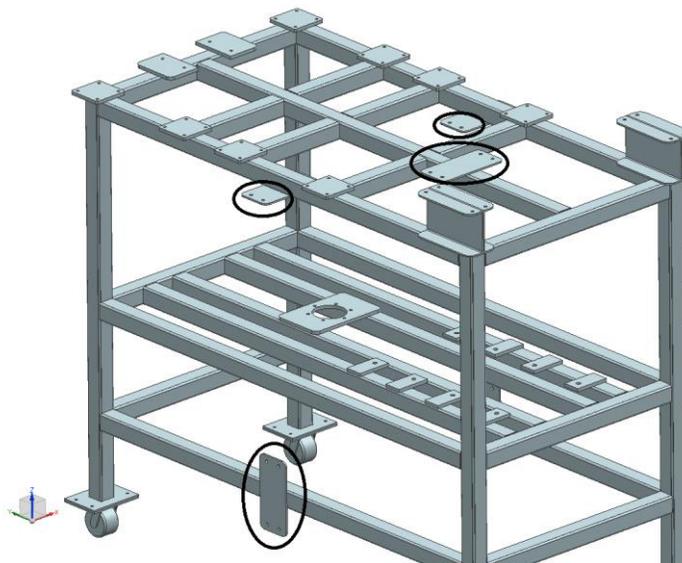


Figura 4.37: Puntos de montura adicionales para montaje de tanques de entrega.

En la Figura 4.38 se pueden observar los dos módulos diseñados para la mesa de pruebas. Gracias al de diseño de dos módulos por separado es posible el analizar los componentes con diversas longitudes de mangueras.

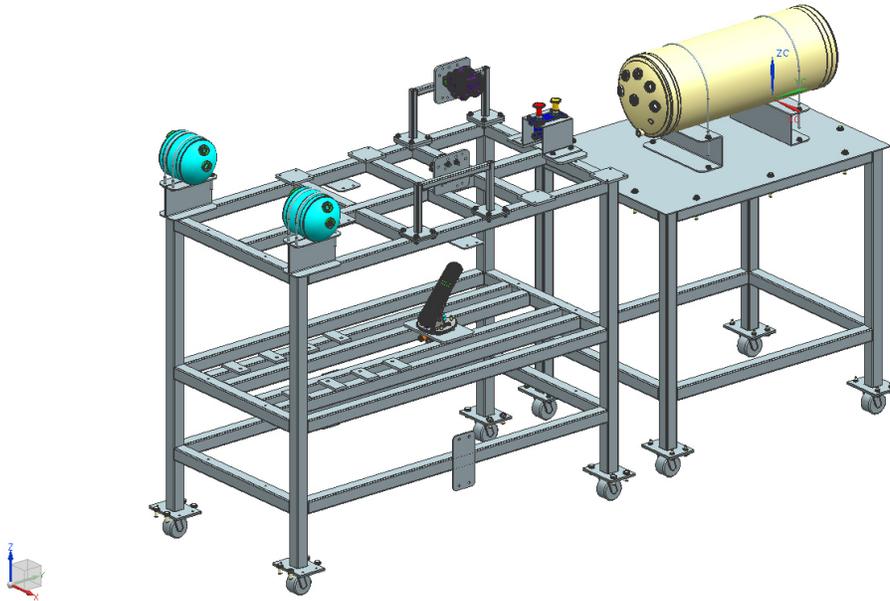


Figura 4.38: Módulos diseñados para la mesa de pruebas.

4.2.3. Diseño de Sistema de Adquisición de Datos

Para medir la presión en los puertos de entrada y salida, dependiendo del componente a analizar, es necesario el desarrollo de una aplicación de adquisición de datos, la cual considera los puntos de la siguiente sección (4.2.3.1).

4.2.3.1. Estructura de un sistema de adquisición de datos

Posteriormente a la investigación del comportamiento de la variable a medir, es necesario definir cada etapa de un sistema de adquisición de datos para esto es necesario seguir las etapas mostradas en la Figura 4.39, la cual es propuesta por National Instruments ® [36]:

1. Esta consta primeramente de los sensores o transductores que se encargan de la medición de la variable física a analizar, la cual es convertida en voltaje o en corriente dependiendo del sensor a utilizar.
2. Posteriormente estas señales son transmitidas al dispositivo de adquisición de datos (Dispositivo DAQ), este es la interfaz entre las señales de los sensores y la computadora. Al mismo tiempo el dispositivo DAQ se encarga de acondicionar la señal a medir y digitalizarla para que esta pueda ser interpretada por la computadora.

3. En la última etapa se encuentra la computadora, la cual contiene el software y drivers necesarios para controlar las operaciones del dispositivo DAQ que son: el procesar, visualizar y almacenar los datos obtenidos.



Figura 4.39: Estructura de un sistema de adquisición de datos [36].

Entonces siguiendo la estructura de la Figura 4.39, se definió cada una de las etapas comenzando de izquierda a derecha.

1. Sensores

A partir de los conceptos revisados en la sección 3.5.1 sobre la velocidad de flujo con la que se comporta el aire comprimido y los resultados obtenidos en trabajos similares a este. Se llega a la conclusión que el sensor a utilizar tenga una buena velocidad de respuesta. Esta propiedad de los sensores se define como la rapidez con que el sensor responde a los cambios en la variable de entrada [37], esto debe tener una velocidad de respuesta muy pequeña, en rango de milisegundos [4].

Los sensores de presión fueron proporcionados por la empresa NAVISTAR, las características de dicho sensor, se muestran en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5: Especificaciones técnicas de sensor de presión a utilizar.

Especificaciones de sensor de presión	
Especificación	Valores
Voltaje de Alimentación	7 V – 30 V
Presión de operación	0 – 150 psi
Voltaje de salida	0 – 5 Volts
Respuesta a la frecuencia	< 1ms

Para la obtención de datos de este sensor, se deben seguir las conexiones de la Figura 4.40. Otro aspecto por considerar para este sensor es su conexión roscada para su acoplamiento neumático, dicha conexión es especificada como 3/8 NPT macho.

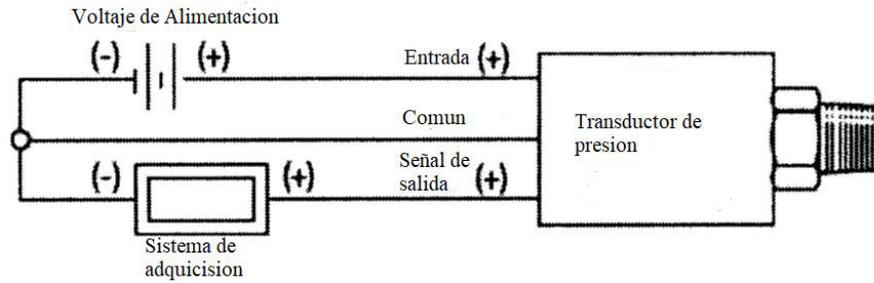


Figura 4.40: Esquema de conexiones del sensor a utilizar.

La empresa al mismo tiempo proporcionara un acelerómetro, para la experimentación con válvulas pilotadas mecánicamente. En este caso solo la válvula de pie, esto para observar las etapas de operación de esta válvula. Las especificaciones de este sensor que deben ser tomadas en cuenta para el correcto dimensionamiento de un sistema de adquisición de datos se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Especificaciones del sensor a utilizar.

Especificaciones de acelerómetro	
Especificación	Valores
Voltaje de Alimentación	9 – 32 V
Rangos de Aceleración	$\pm 10 g$
Voltaje de salida	0 – 5 V
Respuesta a la frecuencia	1ms
Sensibilidad	400 mV/g

2. Sistema DAQ

Para la definición de un sistema DAQ es necesario saber ciertos requerimientos del sistema global de medición los cuales son los siguientes [38]:

a) Cantidad de canales en el sistema:

Esto quiere decir, cuantas entradas y salidas son requeridas en total para adquirir las variables físicas a medir. La cantidad máxima de canales se definiría a partir de la válvula con mayor cantidad de puertos de entrada y salida, la cantidad de tanques de entrega que se medirán.

b) Frecuencia de Muestreo:

Este concepto se define como la velocidad a la cual el dispositivo DAQ adquirirá la señal a analizar [39]. Dicha velocidad se mide en muestras por segundo (Samples per second, S/s), si se tiene un dispositivo que muestree a 100 S/s, quiere decir que este tomara 100 muestras en un segundo. Dentro de este punto es necesario conocer qué tipo de arquitectura cuenta el dispositivo DAQ tiene, existen dos tipos de arquitecturas:

1. Arquitectura de Adquisición Multiplexada:

En esta arquitectura, la cual puede ser observada en la Figura 4.41. Las señales adquiridas por los canales del sistema DAQ, pasan por la misma etapa de amplificación y convertidor ADC. Para esto el dispositivo cuenta con un multiplexor el cual se encarga de adquirir solo un canal la vez, para que este pase por el amplificador del dispositivo.

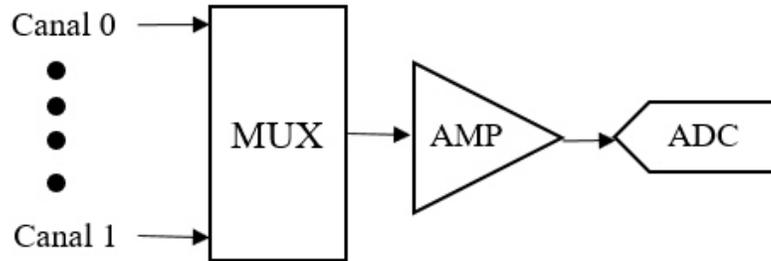


Figura 4.41: Arquitectura de sistema multiplexado [39].

El proceso se puede apreciar de una mejor manera observando la Figura 4.42, donde se está recibiendo una señal senoidal en varios canales al mismo tiempo. El sistema muestrea un canal a la vez, esto ocasionara que el sistema no adquiera valores que puedan ser importantes de los otros canales. Para identificar esta arquitectura sobre otras, dentro de las especificaciones del fabricante, en el apartado de frecuencia de muestreo esta se especifica como muestras por segundo (S/s).

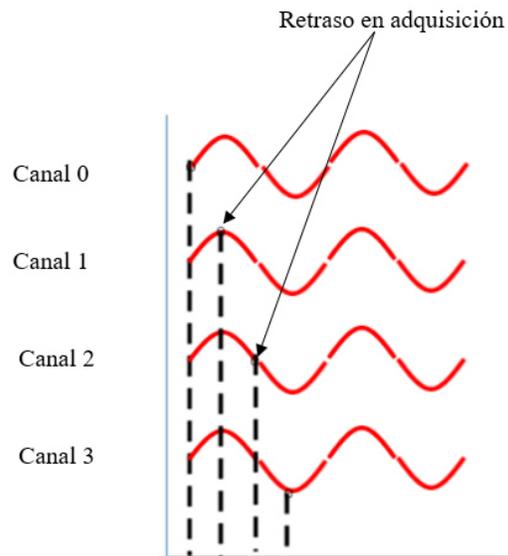


Figura 4.42: Esquema de comportamiento de sistema multiplexado [39].

2. Arquitectura de Adquisición Simultánea:

En la arquitectura de adquisición simultánea, observada en la Figura 4.43, cada canal del dispositivo cuenta con su propio amplificador y convertidor analógico digital. Esta arquitectura es más cara que una arquitectura multiplexada, pero nos permite adquirir muestras al mismo tiempo en todos los canales del dispositivo DAQ.

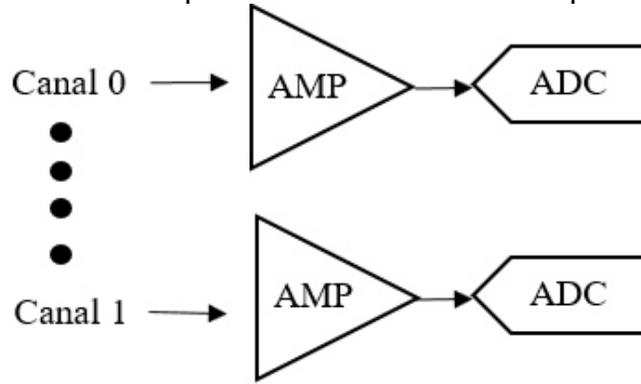


Figura 4.43: Arquitectura de sistema simultaneo [39].

Como puede observarse en la Figura 4.44, la arquitectura simultánea no ocasiona un retraso en adquisición de los canales utilizados del dispositivo DAQ. La manera de identificar si un dispositivo cuenta con esta arquitectura es haciendo referencia a las unidades de la frecuencia de muestreo, estas se designan como muestras por segundo por canal ($S/s/ch$).

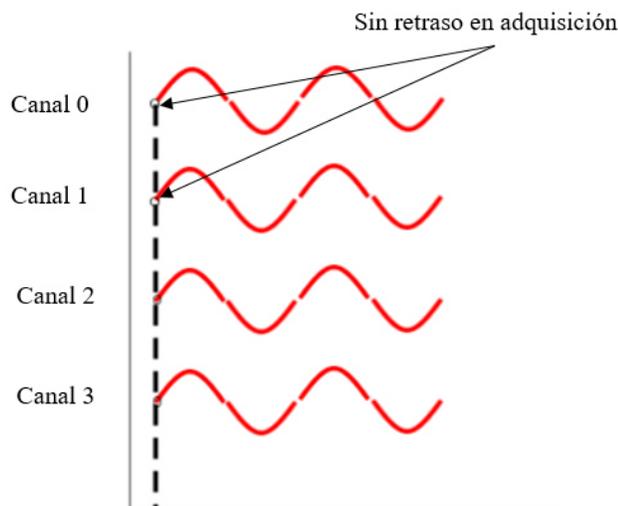


Figura 4.44: Esquema de comportamiento de sistema simultaneo [39].

3. Exactitud:

Capacidad de un instrumento de medida de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida. Idealmente un dispositivo DAQ debería obtener y representar el verdadero valor que está midiendo, pero en la realidad las medidas obtenidas son adquiridas con un grado de incertidumbre. Dicho valor debe ser especificado por el fabricante de los dispositivos, este grado de incertidumbre se le conoce como exactitud absoluta, esta suele ser especificada como en la Tabla 4.7. Donde la columna de la exactitud absoluta en la escala total de la variación máxima que puede tener el dispositivo DAQ bajo el rango nominal especificado.

Tabla 4.7: Exactitud Absoluta [38].

Rango Nominal		Exactitud Absoluta en la escala total (μV)
Escala Positiva	Escala Negativa	
10	-10	1920
5	-5	1010
2	-2	410
1	-1	220
0.5	-0.5	130
0.2	-0.2	74
0.1	-0.1	52

Es necesario mencionar que la exactitud del sistema DAQ, no solo está regida por la exactitud absoluta del dispositivo DAQ sino también de las condiciones en las que se encuentra la señal a adquirir.

c) Rango de valores de la variable a medir

Esto se define como los valores máximos y mínimos que la señal a analizar puede tomar, ya sea en voltaje o corriente, como, por ejemplo: 0 a 5V, -5 a 5V, -10 a 10V, etc. Esta característica llega a afectar en el costo de inversión o también esto se puede ver reflejado en la resolución del sistema, la cual es explicada a continuación.

d) Resolución:

Definida como el incremento mínimo de la entrada que el sistema DAQ que puede detectar, conocido como convertidor analógico digital (ADC). Este incremento mínimo es el número de niveles binarios que el convertidor ADC del sistema DAQ puede usar para representar la señal a medir. Para ilustrar esto, es necesario referirse a la Figura 4.45, donde se observa una resolución de 16-bits contra una resolución de 3-bits. Cuando se está midiendo una onda senoidal, al tener un dispositivo de 3-bits la onda no será representada adecuadamente, esta tendrá una forma escalonada. Mientras que al medir la onda con un dispositivo de 16-bits de resolución, esta onda será representada de

manera correcta, porque este dispositivo puede detectar cambios más pequeños en la variable de entrada.

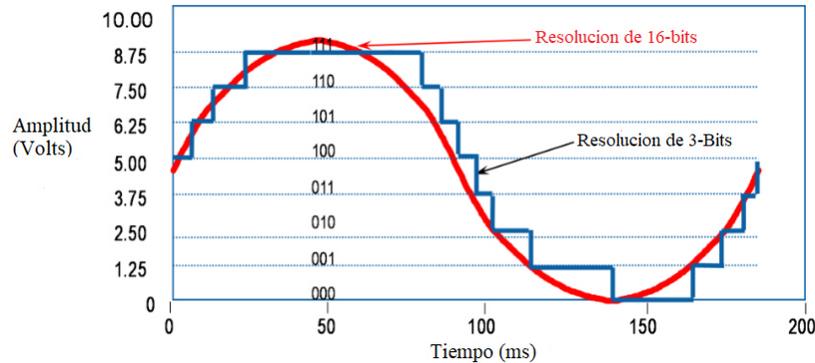


Figura 4.45: Comparación de un sistema DAQ con resolución de 16-bits contra un sistema DAQ de 3-bits [38].

Este cambio mínimo en el valor de entrada del dispositivo puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Rango de Entrada del dispositivo}}{2^{\text{Resolución ADC}}} \quad \text{Ec (3)}$$

Para el ejemplo anterior de la Figura 4.45, si se tiene un rango de entrada de -5 a 5 Volts la resolución o cambio mínimo que este dispositivo puede detectar para el dispositivo de 16-bits será de $153 \mu V$ y para el dispositivo de 3-bits su resolución será de $1.25 V$. Entre más pequeña sea esta resolución, la señal de entrada podrá ser representada de una mejor manera. Entonces al seleccionar un dispositivo DAQ su resolución dependerá del rango de valores de entrada que esta detecta y del valor del convertidor ADC.

3. Computadora y Software

En la última etapa de adquisición, la computadora se encarga de la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar los datos de medida [36]. Dentro de la computadora se tendrá el software de aplicación y el software controlador que contiene los drivers del dispositivo DAQ.

a) Aplicación de Software.

Para que la computadora pueda tener una interacción con el usuario, es necesario un software de aplicación, dicho software le permitirá al usuario la adquisición, analizar y presentar los datos de medidas. Esta puede ser una aplicación predefinida, que está hecha para el análisis y medida de ciertas variables físicas, o un entorno de programación que nos permita desarrollar con funciones personales.

Para este caso de caracterización es necesario un entorno de programación que nos permita:

- Medir la variable física analizar, tiene que estar adecuada para convertir las señales de sensores que utilizaremos.
- Adquirir voltaje a altas velocidades, proveniente del dispositivo DAQ, debido a que el flujo de aire se comporta a velocidades sónicas (3.5.1), esto sin perder ningún valor.
- Contar con un software controlador, que sea compatible con el dispositivo DAQ a utilizar.
- Mostrar los valores en tiempo real junto, después de haberles realizado una conversión de presión.
- Almacenar dichos datos obtenidos en un archivo para un posterior análisis.

Dicho entorno de programación que satisface las características es LabVIEW ®.

b) Software Controlador

Esta parte del sistema se encarga de simplificar la comunicación con el dispositivo DAQ, al abstraer comandos de hardware de bajo nivel y programación a nivel registro. Generalmente el software de controlador DAQ expone una interfaz de programación de aplicaciones (API) la cual es usada en el entorno de programación para construir software de aplicación.

Un software controlador de fácil implementación es DAQmx, el cual se basa en las fases especificadas de la Figura 4.46. Si se respetan dichas fases, la programación de software, no generara problemas de lectura o escritura de datos.

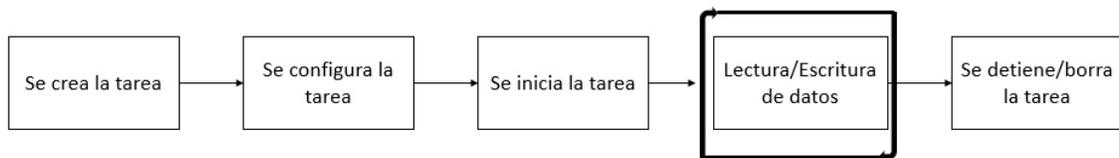


Figura 4.46: Estructura de paquete DAQmx [40].

Para cada fase del diagrama mostrado en la Figura 4.46, existe un bloque que nos permite realizar de manera eficiente dicha fase, los cuales son mostrados en la Figura 4.47.

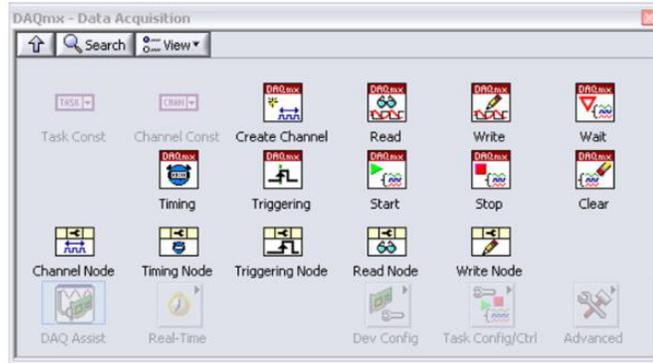


Figura 4.47: Bloques utilizados en paquete DAQmx, dentro del entorno de programación de LabVIEW ® [40].

4.2.3.2. Flujo de la aplicación de adquisición de datos.

Al seguir la estructura y los puntos a considerar de para el desarrollo de una aplicación de adquisición de datos, se desarrolló un flujo de esta aplicación. El cual debe ser seguido por la programación desarrollada, se consideró programar una subrutina para la medición de cada componente a analizar junto con sus respectivas configuraciones. La secuencia que sigue el programa se muestra en la Figura 4.48.

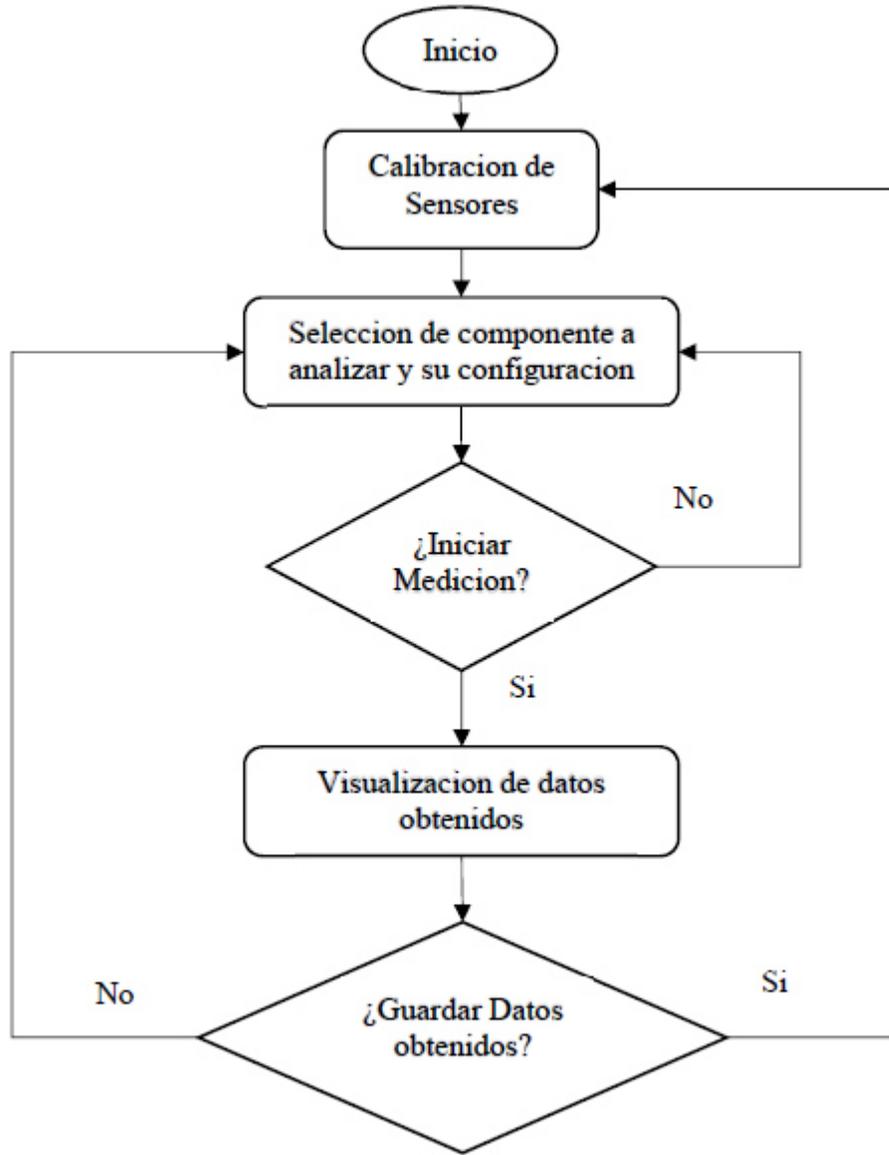


Figura 4.48: Diagrama de flujo de aplicación de adquisición de datos.

Este programa sigue la secuencia especificada en la sección 2, donde se especifica el orden que se debe seguir para obtener datos de manera confiable con la extensión DAQmx de LabVIEW ®. Dentro de esta secuencia preestablecida se definieron las condiciones y rutinas de control para cumplir con los requerimientos del diagrama mostrado en la Figura 4.48.

4.2.3.3. Panel Frontal de Aplicación.

El panel frontal de la aplicación realizada puede ser observado en la Figura 4.49. a continuación, se explican los controles que se definieron para dicha aplicación.

1. Componente a medir: aquí se selecciona el componente al cual se le realizara su medición o se selecciona la subrutina de calibración de sensores.
2. Número de Parte del componente: aquí se ingresa el número de parte del componente que se analizara, este es interno de la empresa.
3. Ubicación del archivo: dentro de este indicador se muestra la ubicación en la cual se guardó el archivo con todos los datos adquiridos de las mediciones realizadas. Automáticamente la aplicación realiza la creación de las carpetas donde se ubica el archivo
4. Nombre final del archivo: en este indicador se muestra el nombre que tendrá el archivo con los datos obtenidos para su posterior análisis.
5. Tanque de Entrega: en este controlador se ingresa el volumen del tanque de entrega que se utilizara en las mediciones.
6. En el recuadro de la derecha, dependiendo del componente a analizar, se mostrarán controles de ingreso de datos para documentación de longitudes y diámetros de mangueras que se le acoplaron al componente analizado.
7. Botón aceptar: aquí se aceptan los datos ingresados en los controles anteriores, para realizar las mediciones al componente definido por el usuario.
8. Interruptor Adquirir: se encarga de realizar las mediciones y el almacenamiento de ellas.
9. Recuadro inferior: contiene los indicadores de presión en los tanques de suministro y entrega, esto con el fin de monitorear la presión durante las mediciones. Si la presión en alguno de estos tanques llegara a sobrepasar los 100 *psi*, su LED superior cambiara de color verde a rojo. Y así terminar la medición.

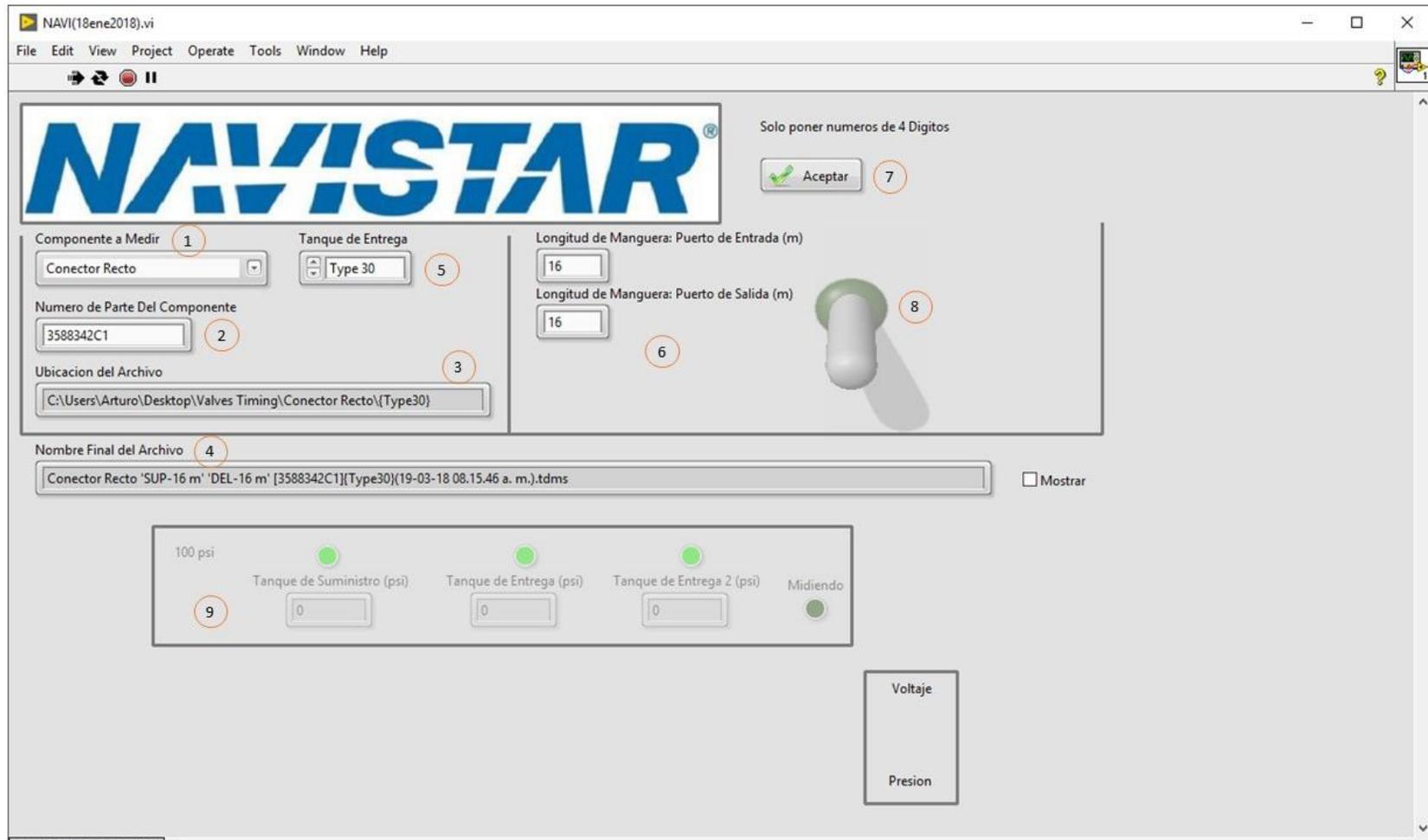


Figura 4.49: Panel frontal de aplicación de adquisición de datos.

4.2.3.4. Etapa de calibración.

Al iniciar la aplicación se deberá realizar la calibración de los sensores de presión. Esto se realiza conectando todos los sensores a utilizar en una misma línea neumática, como se muestra en la Figura 4.50.



Figura 4.50: Calibración de sensores.

Dentro de esta calibración es necesario aplicar presión neumática para dos valores de presión 100 *psi* y 70 *psi* en la presión de referencia, esto realizara el cálculo de una ecuación para cada sensor a utilizar en la forma pendiente intersección. En la

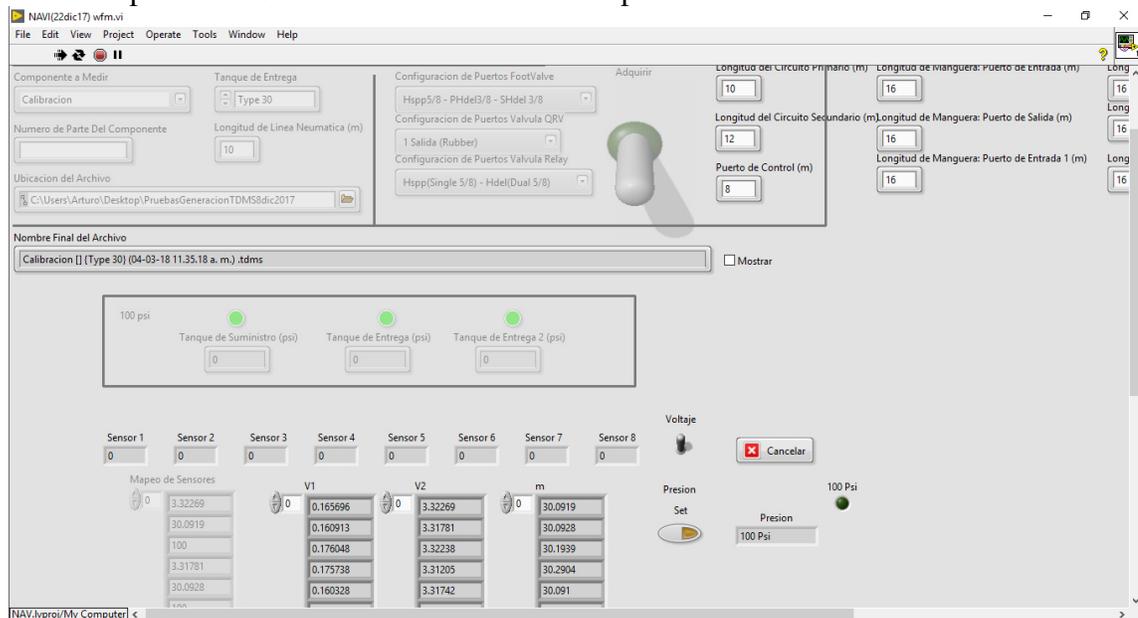


Figura 4.51: Etapa de Calibración en Panel frontal.

4.2.3.5. Etapa de medición.

Al realizar la calibración de los sensores y haber seleccionado el componente que se analizará junto con sus datos correspondientes se inicia la etapa de medición, seleccionando el botón aceptar del panel frontal (Figura 4.49). A continuación, el programa seguirá la secuencia mostrada en el diagrama de flujo de la Figura 4.52. Las mediciones se realizarán a una frecuencia de muestreo de 3000 muestras por segundo. Simultáneamente con la medición de los datos estos serán almacenados en un archivo TDMS, se utilizó este tipo de archivo debido a varias ventajas de su implementación [41]:

1. Implementación en un solo bloque (DAQmx Configure Logging).
2. Facilidad de implementación y acomodo de datos.
3. Alta velocidad de escritura en disco.

Este archivo TDMS contiene los valores de los sensores utilizados en voltaje, no se realizó la conversión dentro de esta etapa, debido a que se sacrificaría tiempo de mediciones, lo que quiere decir que datos se perderían.

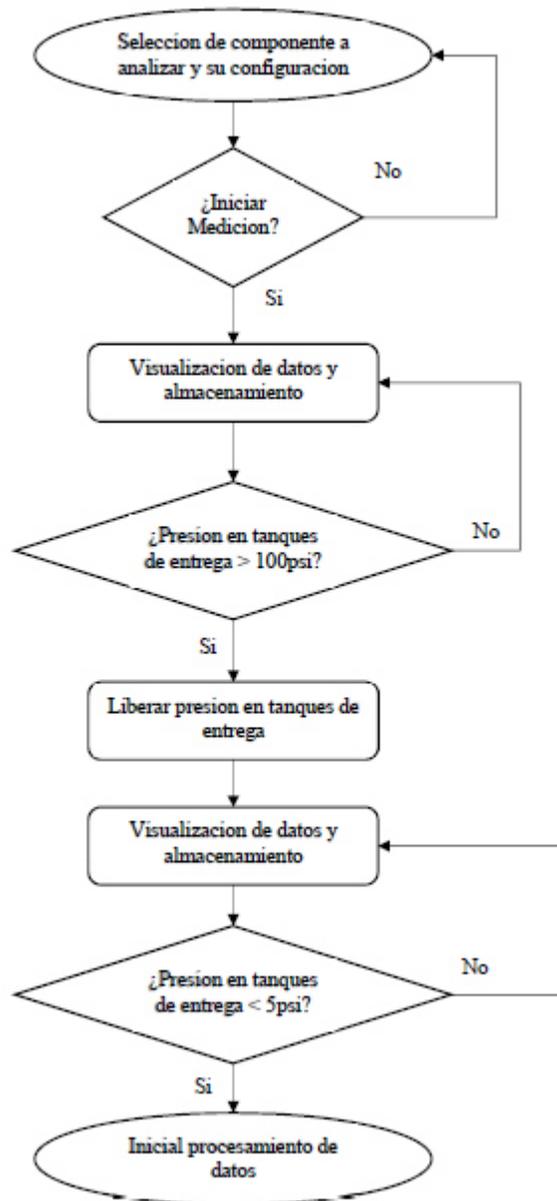


Figura 4.52: Diagrama de flujo de etapa de medición.

4.2.3.6. Etapa de procesamiento y almacenamiento de datos.

Una vez terminada la etapa de medición, se prosigue a realizar un procesamiento de los datos almacenados, para presentarlos de manera adecuada. Las tareas que se realizan dentro de esta etapa son las siguientes:

1. Abrir archivo TDMS con los valores de voltaje.
2. Conversión de dicho voltaje en presión, con las ecuaciones definidas en la etapa de calibración de sensores.
3. Realiza un suavice de curvas para limpiar el ruido provocado por los instrumentos de medición y así tener datos más legibles y reales.

4. Datos procesados en los puntos 1,2 y 3 se almacenan en el archivo TDMS original.
5. Se convierte el archivo TDMS en un archivo Excel para realizar un análisis posterior.

CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dentro de esta sección se describe de manera detallada las características finales de los entregables, que forman parte de la propuesta para la caracterización de los componentes del sistema de frenos, estos serán entregados a la empresa NAVISTAR. En la primera parte del capítulo se describen los experimentos diseñados incluyendo la información que implica su implementación. Posteriormente se mencionan las características de la mesa de pruebas a fabricar para llevar a cabo la experimentación. en la tercera parte se detallan las cualidades de la aplicación de adquisición de datos, así como también puntos a considerar para su implementación. En la cuarta sección se da una discusión acerca de los temas descritos en este capítulo.

5.1. Análisis de resultados entregados a la empresa.

A continuación, se describen las características finales de los entregables de las propuestas de caracterización.

5.1.1. Diseño de Experimentos.

Dentro de los experimentos de pruebas, a la empresa NAVISTAR se le entregó un documento para componente a caracterizar. Dentro de dichos documentos se enlistan:

- Pasos por seguir para la caracterización, los cuales se enumeran en el apartado 4.2.1.5.
- Listado de componentes neumáticos necesarios para la caracterización.
- Configuraciones en las que se medirán los componentes.
- Tiempo total requerido para la obtención de graficas de presión contra tiempo en las diversas configuraciones establecidas.

Cotización de los materiales requeridos por protocolo, dichos costos pueden ser observados en la

- Tabla 5.1.

Al mismo tiempo se entregó el diseño 3D y planos del tanque de entrega necesario para la implementación de los experimentos. El diseño de este tanque puede observarse en la Figura 4.1. Para especificaciones más detalladas de este tanque es necesario referirse a la sección 4.2.1.1 de este documento. Cabe mencionar que dimensiones específicas de este tanque no serán mencionadas debido a que esta información confidencial de la empresa NAVISTAR.

Tabla 5.1: Costos por protocolo de pruebas.

Categoría	Componente	Costo (USD)
Válvulas	Válvula de Pie	\$ 161.74
	Válvula relevadora	\$ 183.56
	Válvula de liberación rápida	\$ 22.36
	Válvula de liberación rápida en línea	\$ 1.40
	Válvula de control de frenos de estacionamiento	\$ 43.36
	Válvula de frenos de resorte	\$ 4.83
	Válvula solenoide	\$ 37.01
	Válvula TP5	\$ -
Conectores	Rectos	\$ 101.64
	90°	\$ 102.26
	45°	\$ 52.07
	Conectores en T	\$ 138.61
Mangueras	Nailon	\$ -
	Caucho	\$ 97.89

5.1.2. Diseño de Mesa de Pruebas.

El diseño final de la mesa de pruebas puede observarse en la Figura 5.1. Esta mesa ocupara un volumen de $1.377 m^3$ para la mesa 1 y un volumen de $2.11 m^3$ para la mesa 2.

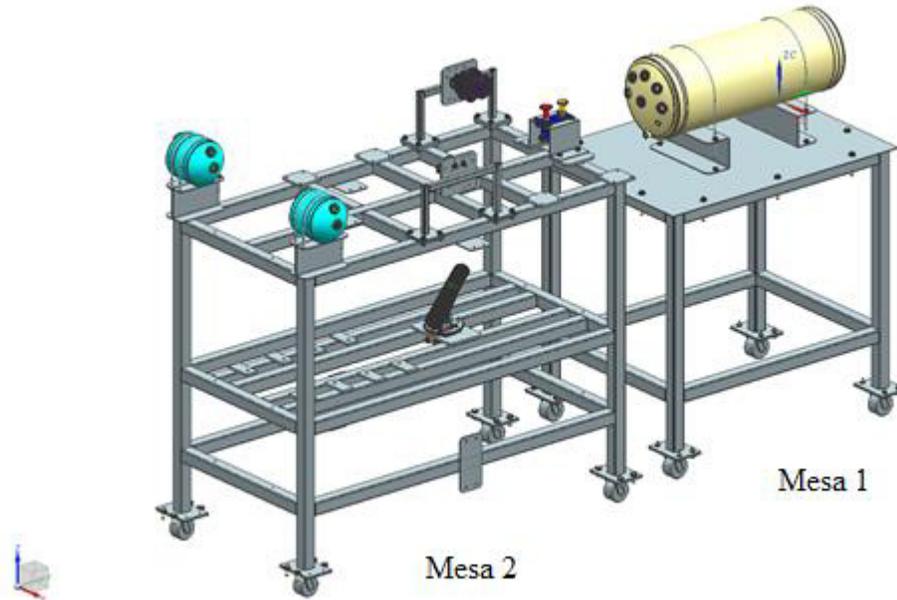


Figura 5.1: Diseño Final de mesa de pruebas.

El material necesario para su fabricación se especifica dentro de la Tabla 5.2, junto con la cotización de dichos componentes.

Tabla 5.2: Costos de mesa de pruebas.

Diámetro interno (in)	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Subtotal (USD)
Placa de acero 3/8in grosor (660 x 620 mm)	1	\$4526.44	\$251.47
Placa de madera 5 mm grosor (1050 x 800 mm)	1	\$495.00	\$27.50
Placa de acero 3/16" grosor (750 x 885 mm)	1	\$1,813.08	\$100.73
PTR 2" de 2 m de largo	12	\$295.00	\$196.67
PTR 2" 1.5 m de largo	11	\$295.00	\$180.28
PTR 1" 1 m de largo	2	\$80.00	\$8.89
Rueda giratoria 3 x 1 ¼ in con freno, capacidad de 113 kg / 250 lb de carga. Uso industrial	8	\$358.40	\$159.29
Tanque de Entrega	2	\$115.00	\$281.25

Además de entregar el modelo 3D de la mesa de pruebas se entregaron los dibujos técnicos para la fabricación de las dos mesas de pruebas, estos dibujos no pueden ser

mostrados dentro de este documento debido a que muestran información confidencial de la empresa.

5.1.3. Sistema de Adquisición de Datos.

Dentro de los requerimientos de la aplicación de adquisición de datos se determinaron las características de la aplicación de software generada junto con los requerimientos de hardware y los componentes necesarios para realizar las mediciones.

Tabla 5.3: Características y requerimientos de aplicación de adquisición de datos.

Característica o Requerimiento	Descripción
Peso de Aplicación (espacio en disco duro para su almacenamiento)	1,385 KB
Sistema Operativo Requerido	Windows 7 o Mayor
Memoria RAM requerida de computador	4 Gb

Dentro de los componentes determinados que son necesarios para implementar las mediciones de los protocolos de caracterización, se determinaron los siguientes mostrados en la Tabla 5.4, así como también la inversión requerida para ellos.

Tabla 5.4: Componentes para aplicación de datos y costos.

Descripción	Precio	Moneda
Chasis Modelo cDAQ-9171	\$ 341.39	USD
Módulo de Entradas Analógicas de Voltaje Modelo: NI-9201	\$ 504.17	USD
Delphi 3 Way Black Metri-Pack 150 Sealed Female Connector	\$ 24.00	USD
Metri-Pack Female Loose Terminal, 150 Series, 18-16 GA	\$ 20.00	USD
Conectores neumáticos	\$ 625.63	USD

5.2. Aportaciones a la Empresa.

Al implementar el sistema desarrollado dentro de este trabajo de investigación, la empresa NAVISTAR se verá impactada de manera positiva en diferentes aspectos, los cuales son mencionados a continuación:

1. Tecnológico:
 - a. Se le está dejando a la empresa el conocimiento necesario para el desarrollo de futuros desarrollos de trabajos de investigación o pruebas físicas a nuevos modelos de válvulas, conectores y mangueras, antes de que estas sean implementadas en un camión real.

- b. Desarrollo intelectual del personal que actualmente se encarga del diseño de sistemas de frenos, lo cual le permitirá un entendimiento más profundo del sistema que ya domina.
- 2. Ingenieril:
 - a. Después de realizar los experimentos propuestos dentro de este trabajo, se espera que haya una disminución o eliminación en retrabajos de ingeniería, cuando una unidad no es capaz de aprobar las pruebas de la FMVSS. Ya que en la actualidad se llegan a tener tiempos de retrabajos de hasta 3 semanas, y con estos resultados esperados se pudieran reducir a 2 días como máximo.
- 3. Económicos:
 - a. Eliminación de componentes de baja rotación.
 - b. Homologación de configuraciones en nuevos modelos de camiones, reduciendo así el costo de inversión por parte de la empresa NAVISTAR.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

Dentro de este capítulo, se dan conclusiones generales de este proyecto. Posteriormente, en el segundo apartado de este capítulo, enumerar conclusiones particulares de este proyecto de investigación con respecto a la hipótesis, objetivo general y objetivos específicos planteados al inicio de este proyecto. Dentro del tercer apartado, se describe el trabajo a futuro que será necesario realizar para completar de manera definitiva este proyecto de investigación.

6.1. Conclusiones Generales.

Para el sistema de frenos fue necesario realizar una investigación del funcionamiento de cada componente. Posteriormente se investigó y explico el funcionamiento del sistema en conjunto. Posteriormente se realizó una investigación de trabajos similares a este, haciendo énfasis en la teoría necesaria para el desarrollo de una caracterización, así como también un análisis de requerimientos de este proyecto.

El desarrollo de este trabajo de investigación ha logrado generar una propuesta para la caracterización de los componentes que integran el sistema de frenos, la cual cumple con las necesidades de la empresa NAVISTAR. Dentro de esta propuesta de caracterización se propusieron tres entregables, los cuales en conjunto servirán para la caracterización de dichos componentes a partir de la modificación de distintas variables, como son: longitud, diámetros de mangueras y configuración de uso del componente a analizar.

Dentro de los entregables propuestos: Primero se desarrollaron experimentos de pruebas, los cuales consideran configuraciones internas de la empresa de la implementación de los componentes en cuestión. Posteriormente se diseñó una mesa de pruebas para la implementación de estos experimentos, donde será posible el montaje de los componentes necesarios para la medición de presión a lo largo del tiempo, en los puertos de entrada, salida, reservas de alimentación y entrega según sea el caso del componente a medir. Por último, se desarrolló una aplicación de adquisición de datos la cual servirá para la medición de presión a lo largo del tiempo en los puntos requeridos del componente a analizar, esto dependiendo de su configuración. Es importante mencionar que esta aplicación es capaz de generar en un archivo de Excel con las curvas de presión contra tiempo.

Posteriormente dentro del análisis de estos entregables, se determinaron los componentes necesarios para los protocolos de pruebas, mesa de pruebas y aplicación de adquisición de datos, además de los costos de inversión necesarios para la implementación de esta caracterización. Una vez adquiridos estos componentes será necesaria la fabricación de la mesa de pruebas, en el espacio destinado para la realización de las pruebas. Realizar las pruebas y analizar los resultados obtenidos con las diversas configuraciones y variables que se modificaron según los protocolos de pruebas diseñados.

A partir de la investigación del estado del arte y del desarrollo de esta propuesta de caracterización se llegó a determinar trabajo a futuro adicional para la obtención de un modelo matemático que logre predecir los tiempos de respuesta en aplicación y liberación del sistema entero. Esto es debido a la complejidad que se tiene al modelar los componentes que integran el sistema de frenos, debido a que es un sistema multifísico. Por ende, es necesario el modelar mecánicamente las válvulas y modelar el comportamiento del aire dentro de las tuberías, válvulas y cámaras de frenos.

6.2. Conclusiones Particulares.

a) Estado del arte

1. Se ha logrado el entender y explicar el funcionamiento de los componentes que integran el sistema de frenado de vehículos pesados y también el funcionamiento del sistema en general. Posteriormente se entendieron la norma FMVSS 121 la cual rige el comportamiento de los tiempos de respuesta y aplicación del sistema.
2. Se encontraron diversos trabajos similares a este, los principales y más mencionados, dentro de este trabajo, pueden encontrarse en las referencias: [4], [5], [6]. Al analizar estos trabajos se llegó a detectar que solo se analiza de manera aislada un componente del sistema de frenos en una sola configuración y no alterando alguna otra variable, tal y como los diámetros y longitudes de mangueras en los puertos de las válvulas que se analizaron. Esto da pie a la necesidad de realizar una caracterización considerando dichas variables.
3. Al revisar las referencias [4], [5] y [6], del estado del arte. Se llegó a la conclusión de si es necesario llegar a la obtención de un modelo matemático, el cual logre predecir los tiempos de respuesta en aplicación y liberación, será necesario el modelado matemático de las válvulas y aire dentro del sistema.

b) Estudio de requerimientos

Después de analizar las distintas configuraciones en las que se debe experimentar con las válvulas, se llega a tener varios puntos a considerar dentro del desarrollo de la metodología de caracterización:

1. Determinación de los conectores necesarios para satisfacer todas las configuraciones encontradas para cada válvula, dichos conectores dependerán de cada puerto de la válvula y del diámetro de la manguera al cual este será acoplado.
2. Se deberán definir conectores neumáticos para que los sensores puedan realizar mediciones en los puntos que se establecerán para medición.
3. Considerar conectores para acoplar las líneas neumáticas a los tanques de aire de entrega y suministro.
4. La diversidad en cantidad de salidas que tiene cada configuración en la que deberá ser analizadas las válvulas también deberá ser tomada en consideración para la etapa de diseño de la aplicación de adquisición de datos. Esta debe ser flexible en cuanto a la utilización de entradas del sistema dependiendo del componente al que se le pida adquirir señales.

La velocidad del aire comprimido depende de la temperatura a la que se encuentra, tal como se vio en la sección 3.5.1. Entonces dependiendo de la temperatura ambiental y la temperatura interna del compresor, los resultados podrán llegar a malinterpretarse o ser similares otros con diferentes diámetros o longitudes de mangueras.

c) Propuesta de caracterización

- Diseño de experimentos.

1. Se llegó a diseñar experimentos de pruebas para el análisis de manera aislada de componentes que integran el sistema de frenado de vehículos pesados. Dentro de cada experimento se especificaron los pasos a seguir para la implementación de los experimentos de pruebas, componentes necesarios para su implementación, configuraciones en las que será analizado el componente en cuestión y tiempo estimado de implementación del experimento.
2. Para su implementación será necesaria el realizar la adquisición de los componentes determinados para los experimentos, adquirir los materiales de la mesa de pruebas junto con su fabricación, además de la implementación de la aplicación de adquisición de datos.

- Mesa de pruebas.

1. Se completó el trabajo de diseño de la mesa de pruebas, donde se llevarán a cabo las pruebas de componentes. Dicho trabajo de diseño incluye el modelo 3D de la mesa de pruebas, dibujos técnicos para su fabricación. El volumen de la mesa de prueba se realizó de la manera más compacta posible, para que esta pueda ser almacenada dentro de su espacio destinado.

Se cuenta con su listado de materiales junto con su cotización, debido a la necesidad de administración de costos para su inversión en caso de que sea fabricada.

- Aplicación de adquisición de datos

1. La aplicación de adquisición de datos desarrollada cuenta con las características necesarias para realizar las mediciones de todos los componentes que son necesarios de caracterizar. Estas características se describen a continuación.
 - Se especificaron los requerimientos de software y hardware del ordenador en la cual será implementada la aplicación.
 - Se determinó un listado de materiales y se cotizo la implementación del sistema de aplicación de adquisición de datos

d) Análisis de Resultados

Se logró llegar a la realización de los entregables de la propuesta de caracterización, los cuales cumplen con las necesidades de la empresa. Al mismo tiempo se establecieron las características de ellos, así como también sus requerimientos de implementación.

Es evidente que, para llegar a la obtención de las curvas de presión contra tiempo, será necesaria una inversión muy fuerte por parte de la empresa. Al realizar la suma de costos de inversión de los tres entregables mencionados en este capítulo se llegó a tener

un estimado de \$3,570.10 *USD*, los cuales pueden elevar o disminuir, esto a partir de donaciones de proveedores de algunos de los componentes o el aumento de sus precios.

A pesar del inconveniente de la gran inversión de estos componentes, esta no será en vano, debido a que estos componentes servirán para la realización de trabajo a futuro de este proyecto de tesis, el cual es llegar a un modelo matemático que logra predecir los tiempos de respuesta. Este trabajo a futuro es descrito en el siguiente capítulo, junto con las conclusiones de este trabajo.

6.3. Trabajo a Futuro.

Este trabajo de investigación expone diferentes líneas de investigación para continuar este trabajo. Por ende, se proponen 3 etapas de investigación, las cuales deberán ser realizadas de manera secuencial:

a) Propuesta de caracterización

Al considerar los costos determinados dentro de esta tesis se espera que la empresa realice una inversión, para adquirir los componentes necesarios de los tres entregables propuestos junto con la fabricación de la mesa de pruebas. Posteriormente se espera el implementar y llevar a cabo los experimentos diseñados para la caracterización de componentes. Al obtener las curvas de presión contra tiempo se espera realizar un análisis del cómo afectan diversas variables en el desempeño de los componentes que integran el sistema de frenos, estas variables son diámetros de mangueras, longitudes de mangueras y configuración en la que se realizó experimento.

b) Validación teórica de curvas obtenidas con propuesta de caracterización

A partir de los resultados que pueden derivarse de la implementación de la etapa anterior, puede realizarse un modelado de dichos componentes y de la dinámica de fluidos dentro de estos ductos, tal como en las referencias [4], [5] y [6]. Dentro de la etapa de modelado se espera realizar mediciones internas de válvulas, tales como rigidez de resortes, medición de masas de pistones y áreas de flujo internas. Al mismo tiempo se espera realizar un modelado físico del comportamiento del aire a través de estos ductos. el objetivo de lo anterior es llegar a las curvas de presión contra tiempo de manera teórica.

Cabe mencionar que dentro de esta etapa se modelaran las cámaras de frenos.

c) Obtención de un modelo matemático para predicción de tiempos de respuesta

A partir de las mediciones y la validación teórica realizada en las etapas anteriores se espera el poder realizar una predicción de los tiempos de respuesta para diferentes configuraciones de un sistema de frenos real.

Referencias

- Manitoba Public Insurance, Air Brake Manual, Manitoba Public Insurance.
- 1] Wikipedia, «Wikipedia,» Wikipedia, 8 Mayo 2017. [En línea]. Available: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Batalla_\(automoci%C3%B3n\)](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Batalla_(automoci%C3%B3n)). [Último acceso: 8 Agosto 2017].
- 2] NHTSA, «NHTSA,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.nhtsa.gov>. [Último acceso: 9 Septiembre 2018].
- 3] S. Coimbatore Subramanian, *Modeling The Pneumatic Subsystem of a S-CAM Air Brake System*, Texas: Texas A&M University, 2003.
- 4] S. Vilayannur Natarajan, *Modeling the Pneumatic Relay Valve of an S-CAM Air Brake System*, Texas: Texas A&M University, 2005.
- 5] F. Li, L. Gangyan, Y. Fei, Z. Ran, C. Ran, X. Jun y L. Zhanghua, «Pressure Response Delay Test of Vehicle Pneumatic Braking Pipeline Based on dSPACE,» *International Conference on Fluid Power and Mechatronics*, pp. 571-575, 2015.
- 6] Navistar, Inc, «navistar.com,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.navistar.com/navistar/#>. [Último acceso: 29 Julio 2018].
- 7] J. Estrada, «Seminario de Frenos de Aire,» Monterrey N.L., 2017.
- 8] BARDAHL, «BARDAHL,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.bardahl.com.mx/diferencia-de-sistema-de-frenos-entre-un-camion-y-un-auto/>. [Último acceso: 8 Agosto 2017].
- 9] R. Limpert, Brake Design and Safety, Warrendale, Pa: SAE International, 1999.
- 10] Cornell Law School, «Cornell Law School,» [En línea]. Available: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/571.121>.
- 11] Bendix Commercial Vehicle Systems, *Bendix® R-12® & R-14® Relay Valves Service Data*, Ohio: Bendix, 2010.
- 12] Bendix Comercial Vehicle Systems, *Bendix ATR-6 and ATR-3 Antilock Traction Relay Valves Service Data*, Ohio: Bendix, 2008.
- 13] United States Plastic Corporation, «What does cracking pressure mean?,» 3 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.usplastic.com/knowledgebase/article.aspx?contentkey=870>. [Último acceso: 26 Enero 2018].
- 14] Bendix Commercial Vehicle Systems, *R-8P™ Pressure Equalizing Pilot Relay Valve*, Ohio: Bendix, 2004.
- 15] Bendix Commercial Vehicle Systems, *Bendix SR-7 Spring Brake Modulating Valve Service Data*, Ohio: Bendix, 2004.
- 16] WABCO, *3/2-way solenoid valve 472*, Pitsburg: WABCO ®.
- 17]

- Bendix Commercial Vehicle Systems, *Bendix® TP-5 Tractor Protection Valve Service Data*, Ohio: Bendix, 2011.
- Process Systems, «Valves Online,» [En línea]. Available: 19] <https://www.valvesonline.com.au/references/threads/>. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- The Engineering Toolbox, «The Engineering Toolbox,» [En línea]. Available: 20] https://www.engineeringtoolbox.com/npt-national-pipe-taper-threads-d_750.html. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- The American Society of Mechanical Engineers, *Dryseal Pipe Threads-ANSI B1.20.3*, New York, 1976.
- Wikipedia, «Wikipedia,» 6 Junio 2017. [En línea]. Available: 22] https://en.wikipedia.org/wiki/Push-to-pull_compression_fittings. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- O. Nicolas, «Ultimate Jets,» 16 Agosto 2016. [En línea]. Available: 23] <https://www.ultimate-jets.net/blogs/fuel-system-for-jets-considerations/barbed-fittings-vs-push-to-connect-fittings>. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- Bendix Commercial Vehicle Systems., *MV-2 Control Module*, Ohio: Bendix, 24] 2004.
- Z. Ma, J. Wu y Y. Zhang, *Modeling, Experimentation ang Sensitivity Analysis of a Pneumatic Brake System in Commercial Vehicles*, SAE International, 2014.
- S. Palanivelu, J. Patil y A. K. Jindal, *Modeling and Optimization of Pneumatic Brake System for Commercial Vehicles by Model Based Design Approach*, SAE International, 2017.
- Peterson Trucks, «petersontrucks.com,» 2017. [En línea]. Available: 27] <http://www.petersontrucks.com/international-trucks/workstar>.
- J. Shukla, A. Grinspan y J. Subramanian, *Design and Analysis of Lifting Pusher Drop Axle for Heavy Commercial Vehicle*, SAE International, 2017.
- Trailer Parts Super Store, «easternmarine.com,» [En línea]. Available: 29] <http://www.easternmarine.com/Air-Brake-Coiled-Hoses/>.
- SAE International, *Test Procedures For Determining Air Brake Valve Input-Output Characteristics*, SAE International, 2016.
- Y. A. Cengel y J. M. Cimbala, *Mecanica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*, Mexico: McGraw-Hill, 2006.
- J. Villareal Lozano, *Investigacion, Analisis y Desarrollo de un Manual para el Diseño de un Sistema Neumatico*, San Nicolas de los Garza Nuevo Leon: Tesis de Maestria, 2001.
- Bendix Commercial Vehicle Systems, *Bendix Brake Chambers Service Data*, 33] Ohio: Bendix, 2007.
- National Instruments Corporation, *Módulo de Entrada de Voltaje de la Serie C*, National instruments, 2018.
- National instruments, *System Requirements for LabVIEW Development Systems and Modules*, National Instruments, 2017.

- National Instruments, *Complete Guide to Building a Measurement System*,
36] National Instruments.
R. Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Sevilla: Publidisa,
37] 2003.
National Instruments, «Measuring Voltage or Current (Analog Input),» NI
38] Online Training, 2012.
National Instruments, «Sample Rate and Aliasing,» National Instruments,
39] 2012.
National Instruments, «Programing with the NI-DAQmx API,» National
40] Instruments, 2012.
National Instruments, *The NI TDMS File Format*, National Instruments
41] Corporation, 2017.
R. Limpert, «Brake Design and Safety,» de *Brake Design and Sfety*,
42] Warrendale, SAE International, 2011, pp. 183-184.
S. Lyden, «Work Truck,» Marzo 2012. [En línea]. Available:
43] <http://www.worktruckonline.com/channel/maintenance/article/story/2012/03/air-brakes-or-hydraulic-brakes-that-is-the-question/page/2.aspx>. [Último acceso: 24 Enero 2018].
C. L. Brubaker, *Dynamic Model of a Non-Linear Pneumatic Pressure*
44] *Modulating Valve Using Bond Graphs*, West Lafayette, IN: Cleveland State University, 2015.
S. S, N. S y K. B, «Dynamic Simulation of a Brake Valve in Air Brake
45] System,» SAE International, India, 2009.
Z. Ma, J. Wu, A. Jin y Y. Zhang, «Robust Design of Load Sensing
46] Proportional Valve by Orthogonal Experiment Analysis with Constrained Multi-objective Genetic Algorithm,» SAE International, Hubei, 2013.
J. N. Patil, S. Palanivelu y A. Kumar Jindal, «Mathematical Model of a Dual
47] Brake Valve for Dynamic Characterization,» SAE International, India, 2013.
R. . C. Rosenberg, D. C. Karnopp y D. L. Margolis, *System dynamics: Modeling and simulation of mechatronic systems*, John Wiley & Sons Ltd, 2012.
SAE International, «SAE Mobilus,» SAE International, [En línea]. Available:
49] <https://saemobilus.sae.org/>. [Último acceso: 2018].
Navistar, Inc, «NAVISTAR,» 2018. [En línea]. Available:
50] <http://www.navistar.com/navistar/>. [Último acceso: 30 Enero 2018].
H. G. Barron Gonzalez, *Contributions to a Novel Remote Control and*
51] *Configuration Extension for Interoperable Personal Health Devices (PHD) Based on ISO/IEEE11073 Standard*, Navarra: Universidad Publica de Navarra, 2016.