



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño y construcción de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo.

Chisaguano Taco, Fernando Josue y López Palate, Alex Bladimir

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Paredes Gordillo, Cristian Alejandro, M.Sc

18 de agosto del 2023

Latacunga



Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Reporte de verificación de contenidos



Tesis Gonzalez Villacis_Final.docx

Scan details

Scan time:
August 16th, 2023 at 18:19 UTC

Total Pages:
95

Total Words:
23738

Plagiarism Detection



4.5%

Types of plagiarism		Words
Identical	1.2%	289
Minor Changes	0.3%	63
Paraphrased	3%	709
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection

N/A

Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (67)

- Análisis del funcionamiento en los sensores de inye...** 0.5%

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8638040>

Ayuda ¿En qué podemos ayudarle? × Buscar en la ayuda Buscar Consultar la ayuda ¿En qué podemos ayudarle? ×...
- Comprender Los Inyectores De Combustible: ¿Cómo...** 0.4%

<https://codigosdecoches.com/comprender-los-inyectores-de-...>

Javier Chirinos

Inicio Códigos De Averías Fallas Según Marca Abarth Acura Alfa Romeo Audi Baic Bentl...
- DETECCIÓN DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN...** 0.3%

<https://www.redalyc.org/journal/5055/505559510005/html/>

Artículo Científico DETECCIÓN DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN MEDIANTE INDICADORES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN DE INYEC...

Ing. Paredes Gordillo, Cristian Alejandro

C. C.: 171848293-6



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseño y construcción de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control del sistema de alimentación del motor de vehículo”** fue realizado por los señores **Gonzalez Chiriboga, Julio Enrique** y **Villacis Ampudia, Walther David**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de agosto del 2023

Ing. Paredes Gordillo, Cristian Alejandro

C. C.: 171848293-6



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Chisaguano Taco, Fernando Josue y López Palate, Alex Bladimir** con cédulas de ciudadanía N° **050408463-3** y **175443262-1** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Diseño y construcción de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 21 de agosto del 2023

Chisaguano Taco, Fernando Josue

C.C.:050408463-3

López Palate, Alex Bladimir

C.C.:175443262-1



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Yo/ nosotros **Chisaguano Taco, Fernando Josue y López Palate, Alex Bladimir** con cédulas de ciudadanía N° **050408463-3** y **175443262-1**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular "**Diseño y construcción de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo.**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 21 de agosto del 2023

Chisaguano Taco, Fernando Josue

C.C.:050408463-3

López Palate, Alex Bladimir

C.C.:175443262-1

Dedicatoria

Dedico la elaboración de este proyecto a Dios por la vida y a todo ser viviente que fue de apoyo durante el desarrollo de mi vida, carrera y presente proyecto de titulación.

Chisaguano Taco Fernando Josue

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a toda mi familia, especialmente a mis padres Hugo López y Gladys Palate por haber sido un apoyo fundamental, a lo largo de todo este trayecto de mi vida, durante mi carrera y en un futuro, que estoy seguro que me van a seguir apoyando y aconsejando para que yo sea una excelente persona.

A mis hermanos Kevin y Víctor que siempre me han brindado su apoyo incondicional en todo momento, siendo mi motivo de inspiración para convertirme en un gran profesional y tratar de ser mejor cada día.

A mis tíos/as y mis primos/as y en general a toda mi familia, que gracias a sus consejos y palabras de aliento me animan y me reconfortan para seguir en esta lucha diaria por convertirme en profesional.

López Palate Alex Bladimir

Agradecimiento

Quiero agradecer fundamentalmente a mi núcleo familiar como mi padre, madre, hermanos quienes me apoyaron no solamente emocionalmente si no también económicamente durante mi vida universitaria y me inculcaron valores muy importantes.

A mi compañero de tesis que con su dedicación y esfuerzo logramos sacar este proyecto adelante.

A mi tutor de tesis por su guía y apoyo durante el periodo de investigación del presente proyecto.

A docentes del departamento de energía y mecánica por compartir cada uno de sus conocimientos y experiencias para crecer tanto profesionalmente como personalmente.

Finalmente quiero agradecer a todos compañeros, amigos de la universidad de las fuerzas armadas ESPE quienes han formado parte de mi vida y han compartido un pedazo de sus vidas con mi persona.

Chisaguano Taco Fernando Josue

Agradecimiento

Al finalizar este trabajo quisiera agradecer primeramente a Dios por haberme dado vida y a mis padres que siempre me apoyaron a lo largo de este camino de vida universitaria y por tantas bendiciones derramadas sobre mí y mi familia.

A mi compañero de tesis que con su dedicación y esfuerzo logramos sacar este proyecto adelante.

A mi querida Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por haberme dotado de todo el conocimiento durante estos años, otorgándome la oportunidad de alcanzar mi meta académica.

Mi agradecimiento y reconocimiento a todos los docentes del departamento de energía y mecánica por haber compartido todos sus conocimientos con mi persona para poder llegar a ser un excelente profesional.

A mis compañeros de aula que gracias a su amistad he podido terminar mi carrera con amistades verdaderas durante mi trayectoria universitaria, gracias por todo el conocimiento y apoyo brindado.

López Palate Alex Bladimir

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	18
Índice de tablas.....	21
Índice de ecuaciones.....	23
Resumen.....	24
Abstract	25
Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación.....	26
Antecedentes investigativos.....	26
Planteamiento del problema	27
Descripción resumida del proyecto.....	30
Justificación e importancia	30

Objetivos	30
<i>Objetivo general</i>	30
<i>Objetivos específicos</i>	31
Metas	31
Hipótesis	31
VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	32
<i>Variable Independiente</i>	32
<i>Variable Dependiente</i>	32
Capítulo II: Fundamento Teórico	33
La presión de los neumáticos en un vehículo	33
Definiciones principales de la presión en un neumático	33
<i>Cómo medir la presión</i>	33
<i>Nitrógeno o aire en las ruedas</i>	34
Representación de los neumáticos	34
<i>Descripción de los neumáticos</i>	35
<i>Altura del neumático</i>	35
Presión del neumático de acuerdo al rin de la llanta	36
Parámetros de presión en un neumático	37
<i>Aire comprimido</i>	37
Componentes básicos de una conexión de aire comprimido	38
Sistema de auto compensación de aire a los neumáticos.....	40

Procesos de operación.....	41
Normativas técnicas de seguridad en los neumáticos	42
<i>RTE INEN 034</i>	42
Componentes electrónicos a implementarse	42
<i>Conexión inalámbrica</i>	42
<i>Conexión Bluetooth</i>	43
<i>Conexión Wifi</i>	43
<i>Microcontroladores</i>	44
<i>ESP8266</i>	44
<i>ESP32</i>	45
<i>Protocolo Espnow</i>	46
<i>Comunicación maestros y un esclavo</i>	46
Sistema de monitoreo de presión de neumáticos o TPMS	47
<i>TPMS Directos (dTPMS)</i>	48
<i>TPMS indirecto (iTPMS)</i>	49
Componentes neumáticos	49
<i>Compresor de aire</i>	49
<i>Depósito de aire comprimido</i>	50
<i>Electroválvulas neumáticas</i>	51
<i>Interruptor de presión</i>	52
Definiciones del sistema neumático.....	53

<i>Ecuación general de la energía</i>	54
<i>Tasa de flujo volumétrico</i>	55
<i>Volumen de un sólido de revolución</i>	55
<i>Caudal</i>	56
<i>Peso específico</i>	57
Capítulo III: Diseño del sistema alerta temprana, monitoreo y control	58
Necesidades	58
Requerimientos	58
Restricciones	59
Alternativas de diseño	59
<i>Alternativa 1</i>	<i>59</i>
<i>Alternativa 2</i>	<i>61</i>
<i>Alternativa 3</i>	<i>62</i>
<i>Evaluación de alternativas</i>	<i>63</i>
Selección de alternativas	64
Dimensionamiento del armazón del circuito de monitoreo	65
Dimensionamiento de la base del circuito de control	66
Geometría del armazón del circuito de monitoreo	67
Geometría de la base del circuito de control	67
Diseño del Sistema de monitoreo	71
<i>Diseño electrónico del sistema de monitoreo</i>	<i>71</i>

<i>Programación del sensor de presión HK1100C</i>	<i>72</i>
Selección de componentes del sistema de monitoreo	73
<i>Microcontrolador.....</i>	<i>73</i>
<i>Sensor de presión neumático.....</i>	<i>75</i>
<i>Fuente de alimentación.....</i>	<i>76</i>
Diseño del Sistema de alerta temprana.....	77
<i>Diseño electrónico del sistema de alerta temprana.....</i>	<i>77</i>
<i>Aplicación Android para el sistema de alerta y monitoreo</i>	<i>79</i>
Selección de componentes del sistema de alerta	80
<i>Microcontrolador central</i>	<i>80</i>
Diseño del Sistema de control	81
<i>Caudal y presión del sistema de control</i>	<i>84</i>
Selección de componentes del sistema neumático	86
<i>Electroválvula.....</i>	<i>86</i>
<i>Interruptor de presión.....</i>	<i>88</i>
<i>Reguladores de presión.....</i>	<i>89</i>
<i>Racores A Presión Con 2 o más Conexiones.....</i>	<i>90</i>
<i>Manguera de presión neumática.....</i>	<i>92</i>
<i>Depósito de aire</i>	<i>93</i>
<i>Compresor.....</i>	<i>94</i>
Capítulo IV: Construcción y validación del sistema implementado.....	96

Construcción del sistema de monitoreo	96
<i>Adaptación del sensor de presión</i>	<i>97</i>
<i>Conexión del circuito electrónico de alerta.....</i>	<i>98</i>
<i>Conjunto TPMS.....</i>	<i>99</i>
Construcción del sistema de alerta	100
<i>Conexión del circuito electrónico de alerta.....</i>	<i>101</i>
<i>Implementación del sistema de alerta en el tablero del vehículo</i>	<i>102</i>
Construcción del Sistema de control	102
<i>Conexión del Sistema de control</i>	<i>103</i>
<i>Ensamble del Sistema neumático</i>	<i>104</i>
<i>Ensamble del circuito neumático de alimentación</i>	<i>105</i>
<i>Ensamble de la base de la rueda y conectores neumático</i>	<i>106</i>
Balanceo de los Neumáticos.....	106
Validación del sistema.....	109
<i>Protocolo de operación del sistema</i>	<i>109</i>
Pruebas en el sistema implementado	110
<i>Pruebas estáticas.....</i>	<i>110</i>
<i>Un neumático a baja presión.....</i>	<i>111</i>
<i>Dos neumáticos a baja presión.....</i>	<i>111</i>
<i>Tres neumáticos a baja presión</i>	<i>112</i>
<i>Cuatro neumáticos a baja presión</i>	<i>113</i>

Pruebas dinámicas	116
<i>Eje frontal.....</i>	<i>116</i>
<i>Eje posterior</i>	<i>120</i>
Análisis de resultados	123
Análisis de funcionamiento de gestión eléctrica.....	123
<i>Voltaje de alimentación.....</i>	<i>123</i>
<i>Voltaje de masa</i>	<i>124</i>
<i>Sensor de presión</i>	<i>124</i>
Análisis de operación del sistema neumático	126
<i>Carga de aire presurizado.....</i>	<i>126</i>
<i>Control de ingreso de aire presurizado</i>	<i>126</i>
<i>Análisis de pruebas de fugas</i>	<i>127</i>
Análisis de resultados de pruebas estáticas y dinámicas	128
<i>Análisis en pruebas estáticas</i>	<i>128</i>
<i>Análisis dinámico.....</i>	<i>129</i>
Capítulo V: Marco Administrativo.....	131
Recursos empleados	131
<i>Recursos Materiales.....</i>	<i>131</i>
<i>Recursos Humanos.....</i>	<i>132</i>
<i>Recursos Financieros</i>	<i>133</i>
<i>Recursos Tecnológicos</i>	<i>135</i>

Conclusiones	136
Recomendaciones	138
Bibliografía	139
Anexos.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	29
Figura 2 <i>Significado de los números en un neumático</i>	35
Figura 3 <i>Recorrido del aire comprimido hasta el consumidor</i>	37
Figura 4 <i>Filtro de aire</i>	39
Figura 5 <i>Regulador de presión</i>	40
Figura 6 <i>Sistema de auto compensación de aire a los neumáticos</i>	41
Figura 7 <i>Microcontrolador ESP8266</i>	45
Figura 8 <i>Microcontrolador ESP32</i>	46
Figura 9 <i>Comunicación Maestro esclavo</i>	47
Figura 10 <i>Compresor neumático</i>	50
Figura 11 <i>Depósito de aire comprimido</i>	51
Figura 12 <i>Electroválvulas</i>	52
Figura 13 <i>Interruptor de presión</i>	53
Figura 14 <i>Alternativa 1</i>	60
Figura 15 <i>Alternativa 2</i>	61
Figura 16 <i>Alternativa 3</i>	63
Figura 17 <i>Dimensionamiento del armazón</i>	65
Figura 18 <i>Dimensionamiento de la base del sistema neumático</i>	66
Figura 19 <i>Geometría de la base del circuito de control</i>	68
Figura 20 <i>Diseño final del sistema</i>	69
Figura 21 <i>Diagrama de Flujo</i>	70
Figura 22 <i>Diagrama eléctrico del sistema de monitoreo</i>	71
Figura 23 <i>Microcontrolador ESP8266</i>	74

Figura 24 <i>Sensor HK1100C</i>	75
Figura 25 <i>Batería Li-Po de 7.4V</i>	77
Figura 26 <i>Diagrama del sistema de alerta temprana</i>	78
Figura 27 <i>Interfaz de la aplicación Android</i>	79
Figura 28 <i>Microcontrolador ESP32</i>	81
Figura 29 <i>Diagrama de simulación de circuito neumático</i>	83
Figura 30 <i>Diagrama del circuito eléctrico de la parte neumática</i>	84
Figura 31 <i>Electroválvula CM-DA</i>	87
Figura 32 <i>Interruptor de presión SPDT C</i>	89
Figura 33 <i>Válvula reguladora de caudal</i>	90
Figura 34 <i>Manguera Neumática Natural</i>	93
Figura 35 <i>Depósito de aire</i>	94
Figura 36 <i>Compresor portátil</i>	95
Figura 37 <i>Sistema de monitoreo</i>	97
Figura 38 <i>Inserción de machuelo en el aro del vehículo</i>	97
Figura 39 <i>Instalación del sensor de aire</i>	98
Figura 40 <i>Ensamble del circuito electrónico de alerta</i>	99
Figura 41 <i>Adaptación del sistema de monitoreo</i>	100
Figura 42 <i>Sistema de alerta</i>	101
Figura 43 <i>Conexión del sistema de alerta</i>	101
Figura 44 <i>Adaptación del sistema de alerta</i>	102
Figura 45 <i>Sistema Neumático</i>	103
Figura 46 <i>Notificación en la pantalla de auto compensación</i>	104
Figura 47 <i>Conexión circuito neumático</i>	105
Figura 48 <i>Sistema neumático de alimentación</i>	105
Figura 49 <i>Base y conector de aire giratorio</i>	106

Figura 50 <i>Neumático sin balance</i>	107
Figura 51 <i>Neumático con balance</i>	108
Figura 52 <i>Diagrama presión volumen</i>	125
Figura 53 <i>Medición de pruebas de fugas</i>	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Presiones en los neumáticos</i>	36
Tabla 2 <i>Parámetros de evaluación de las alternativas</i>	64
Tabla 3 <i>Componentes del circuito de monitoreo de presión</i>	72
Tabla 4 <i>Selección de microcontrolador para el monitoreo de presión</i>	74
Tabla 5 <i>Selección del sensor para el monitoreo de la presión de los neumáticos</i>	75
Tabla 6 <i>Selección de la fuente de energía</i>	76
Tabla 7 <i>Componentes del sistema de alerta temprana</i>	78
Tabla 8 <i>Selección del microcontrolador para el sistema de alerta</i>	80
Tabla 9 <i>Componentes de la simulación de circuito neumático</i>	82
Tabla 10 <i>Parámetros</i>	85
Tabla 11 <i>Electroválvulas</i>	86
Tabla 12 <i>Interruptor de presión</i>	88
Tabla 13 <i>Reguladores de presión</i>	89
Tabla 14 <i>Componentes racor</i>	91
Tabla 15 <i>Mangueras neumáticas</i>	92
Tabla 16 <i>Características del compresor</i>	94
Tabla 17 <i>Peso agregado en los neumáticos</i>	108
Tabla 18 <i>Llenado a de aire en un neumático con presión de trabajo al 50%</i>	111
Tabla 19 <i>Llenado a de aire en dos neumáticos con presión de trabajo al 50%</i>	112
Tabla 20 <i>Llenado a de aire en tres neumáticos con presión de trabajo al 50%</i>	113
Tabla 21 <i>Llenado a de aire en cuatro neumáticos al 50%</i>	114
Tabla 22 <i>Comparativa de auto compensación de aire a los neumáticos</i>	115
Tabla 23 <i>Eje delanteros en prueba de ruta en zona urbana</i>	116

Tabla 24 <i>Eje delanteros en prueba de ruta en zona rural</i>	117
Tabla 25 <i>Eje delanteros en prueba de ruta en zona de autopista</i>	118
Tabla 26 <i>Comparación del tiempo de llenado eje frontal</i>	119
Tabla 27 <i>Eje posterior en prueba de ruta en zona urbana</i>	120
Tabla 28 <i>Pruebas de llenado en el eje posterior en zona rural</i>	121
Tabla 29 <i>Pruebas de llenado en el eje posterior en zona de autopista</i>	122
Tabla 30 <i>Eje posterior a diferente porcentaje de apertura de caudal</i>	122
Tabla 31 <i>Valores de operación del sensor de presión</i>	124
Tabla 32 <i>Comparativa de pruebas estáticas</i>	128
Tabla 33 <i>Comparativa de pruebas dinámicas eje delantero y posterior</i>	129
Tabla 34 <i>Recursos materiales</i>	131
Tabla 35 <i>Talento humano</i>	133
Tabla 36 <i>Costos de los recursos materiales</i>	133
Tabla 37 <i>Recursos tecnológicos</i>	135

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Ecuación general de la energía</i>	54
Ecuación 2 <i>Tasa de flujo volumétrico</i>	55
Ecuación 3 <i>Volumen de un sólido de revolución</i>	56
Ecuación 4 <i>Caudal</i>	56
Ecuación 5 <i>La ecuación resultante</i>	73

Resumen

En este proyecto se realiza la implementación de un sistema de alerta, monitoreo y control de la presión de aire en los neumáticos de vehículo. Para esto, se parte del diseño conceptual y detallado de todas las partes incorporadas en el sistema. Se realiza a continuación el diseño mecánico, neumático y eléctrico de componentes del sistema a implementarse en el vehículo. Para el diseño detallado se utilizó un software CAD para dimensionar y analizar partes y componentes que se incluirían en el sistema a implementar. Para el efecto, se toma en consideración los parámetros de normal operación y funcionamiento de sensores, actuadores y demás componentes propios del vehículo. A continuación, se seleccionan los elementos normalizados a través de catálogos y se construye cada parte en base a la planificación realizada en el diseño. Posteriormente, se implementa todos los componentes en el vehículo de manera adecuada y de acuerdo a esquemas definidos. A continuación, se valida el sistema mediante la realización de pruebas estáticas y dinámicas del sistema implementado para comprobar el correcto funcionamiento en el vehículo. Se obtienen resultados y datos de las pruebas realizadas, que permiten posteriormente realizar el análisis de los mismos, y de los cuales, se obtienen las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado. El sistema implementado cuenta con un monitoreo constante de los parámetros de la presión de aire, que, con ayuda de las alertas auditiva y visual implementadas, informan al conductor de una pérdida de presión en los neumáticos de vehículo; con la posibilidad de controlar y compensar la presión faltante en los mismos. Mediante el presente trabajo, se garantiza la estabilidad de la presión de los neumáticos y con ello mantener un correcto comportamiento del vehículo durante la conducción ya sea en zona urbanas o carretera, siendo factible replicarlo en vehículos de servicio particular o comercial.

Palabras clave: Auto compensación de aire, neumáticos de vehículo, presión de inflado, monitoreo de presión de aire.

Abstract

In this project, the implementation of a system for warning, monitoring and control of air pressure in vehicle tires is carried out. For this, we start with the conceptual and detailed design of all the parts incorporated in the system. The mechanical, pneumatic and electrical design of the system components to be implemented in the vehicle is then carried out. For the detailed design, CAD software was used to dimension and analyze parts and components to be included in the system to be implemented. For this purpose, the parameters of normal operation and functioning of sensors, actuators and other components of the vehicle are taken into consideration. Then, the standardized elements are selected through catalogs and each part is built based on the planning made in the design. Subsequently, all components are implemented in the vehicle in an appropriate manner and according to defined schemes. Next, the system is validated by performing static and dynamic tests of the implemented system to verify the correct operation in the vehicle. The results and data of the tests performed are obtained, which subsequently allow the analysis of the same, and from which the conclusions and recommendations of the work performed are obtained. The implemented system has a constant monitoring of the air pressure parameters, which, with the help of the implemented audible and visual alerts, informs the driver of a loss of pressure in the vehicle tires; with the possibility of controlling and compensating the missing pressure in them. By means of this work, the stability of the tire pressure is guaranteed, thus maintaining a correct behavior of the vehicle while driving in urban or highway areas, being feasible to replicate it in private or commercial vehicles.

Key words: Auto air compensation, vehicle tires, inflation pressure, air pressure monitoring.

Capítulo I

Planteamiento del problema de investigación

Recientemente, la mayor conciencia medioambiental y el incremento de precio de los derivados del petróleo han provocado un cambio de paradigma en la movilidad de la sociedad. Así, han aumentado los vehículos más respetuosos con el medio ambiente, más económicos y que responden con mayor fiabilidad a las necesidades actuales de movilidad, especialmente en las grandes y medianas ciudades.

A pesar de todo lo mencionado, se debe denotar que el vehículo en la actualidad es una herramienta fundamental para el desarrollo de sinnúmero de actividades, por lo cual debe ser un elemento fiable y seguro en todo momento. Dentro del aspecto de seguridad, se tiene a los neumáticos de vehículo que juegan un papel fundamental tanto en la seguridad activa como pasiva del mismo, debiendo ser un componente que amerita importancia. Factores como la presión de inflado del neumático son fundamentales al momento de conducir, ya que del mismo dependerán el comportamiento del vehículo durante su desplazamiento, y con ello, la seguridad de sus ocupantes.

Antecedentes investigativos

Los vehículos en la actualidad vienen equipados con sistemas de aviso del no funcionamiento de partes o sistemas. Sin embargo, son insuficientes al momento de alertar un desperfecto hacia sus ocupantes, sea por descuido, desconocimiento o por distracción del conductor.

Una incorrecta presión de inflado de los neumáticos puede generar daños como la pérdida gradual de funcionalidad de los componentes, perder el control sobre el automóvil; donde se ve alterada la estabilidad, la distancia de frenado y la inmovilización del vehículo, reduciendo así el confort y la ergonomía. Una sobre presión muy alta el neumático, el área del neumático que se encuentra en contacto con el suelo de la calzada se reduce esto genera

menor agarre al tener una presión excesiva, la superficie del neumático que está en contacto con la carretera se reduce y, por lo tanto, disminuye el agarre. Por tal razón, es necesario incorporar un sistema innovador aplicable a cualquier tipo de vehículo que alerte a tiempo al conductor, que la funcionalidad de un sistema en específico no es la correcta.

Planteamiento del problema

En la vida cotidiana se descuida la presión normal de aire en los neumáticos del vehículo sin conocer que por una baja o elevada presión se tiene desde un desgaste prematuro de los mismos, hasta el daño complejo de componentes de la dirección y suspensión. Si bien es exigente que todo conductor conozca, y respete recomendaciones de operación de los sistemas, una gran parte de vehículos llegan a los talleres con algunos sistemas averiados debido a la presión incorrecta de los neumáticos que generó daños más complejos, y que incluso puede incurrir en perjuicios mayores hacia los ocupantes del vehículo.

Por esta razón, es necesario construir un sistema convencional de alerta temprana ante defectos relacionados con la presión del neumático del vehículo, que se activa cuando el sistema implementado detecta un mal funcionamiento o comportamiento inadecuado dentro de los parámetros de normal operación de un componente o sistema, para corregir inmediatamente el error. El sistema se puede aplicar a cualquier vehículo automotor, evitando daños graves en las piezas o componentes.

La presión óptima de los neumáticos ayuda a tener un rendimiento estable y perdurar la vida útil del mismo cumpliendo expectativas de calidad por el fabricante. presión de aire adecuada en los neumáticos permite mantener un buen rendimiento y una larga vida útil del neumático conforme a las expectativas trazadas y establecidas por los fabricantes. De esta forma, el rango de presión del neumático se mantiene dentro de especificaciones, esto promueve el desgaste normal de los neumáticos y evita riesgos, prácticas inseguras e inversiones anticipadas en la sustitución de este componente mecánicos. Al tener una

compensación automática del nivel de llenado da como resultado un notable ahorro de combustible y una reducción de las emisiones contaminantes al medio ambiente, además se optimiza el tiempo que conlleva hacer una revisión de niveles de presión de aire de manera frecuente y manual.

Un vehículo consta de elementos o componentes que sirven para mantener la estabilidad del mismo en movimiento y para minimizar al máximo el riesgo de accidentes, es decir, son elementos que son efectivos en la prevención de accidentes y forman parte de la seguridad activa respectivamente. De acuerdo con las características propias de los neumáticos estos garantiza una tracción eficaz en todo tipo de carretera circulada por un vehículo. Además, monitorear las condiciones y seguir un programa de mantenimiento planificado es esencial para lograr la mejor tracción posible de las ruedas hacia el pavimento. El único punto de contacto entre el vehículo y la carretera son los neumáticos; por lo cual es importante mantenerlo en buen estado y usarlo con la presión adecuada. Un sistema complementario el cual mantiene los neumáticos en óptimas condiciones de uso es el TPMS, que monitorea constantemente la presión de aire en los neumáticos e informa de cualquier malfuncionamiento. Siendo lo expuesto anteriormente el problema de investigación, se recurre al diseño y la implementación de un sistema de monitoreo, alerta temprana y control de la presión de aire de los neumáticos de un vehículo.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. Esta gráfica se centra en cómo el monitoreo de la presión de aire de los neumáticos incide en un manejo confiable y como su implementación beneficia una conducción segura del vehículo.

Descripción resumida del proyecto

Considerando que un sistema de aviso del no funcionamiento de partes o sistemas son insuficientes al momento de alertar un desperfecto hacia sus ocupantes, sea por descuido, desconocimiento o por distracción del conductor, se manifiesta que es pertinente la elaboración de un sistema innovador aplicable en cualquier vehículo el cual permita realizar el monitoreo de la presión de los neumáticos. Se pretende incorporar alertas visuales y sensoriales con un monitoreo específico y constante de la presión en la cámara del neumático.

Justificación e importancia

El proyecto consiste en diseñar y construir un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de un vehículo automotor, que es un sistema que está monitoreando constantemente la presión de los neumáticos. En el caso que se encuentre fuera del rango de tolerancia la presión de los neumáticos, el sistema alertará al conductor de manera sensorial, gradual y visual con el fin de corregir la presión de sus neumáticos para así evitar posteriores daños graves en sistemas o piezas del vehículo.

El sistema implementado será de gran ayuda para el conductor de vehículo ya que será alertado de manera rápida ante una variación considerable en los parámetros de operación normal de la presión de los neumáticos. Estas alertas llamarán la atención del y los ocupantes, sin descuidar o perturbar la conducción del vehículo. El presente trabajo, sin lugar a duda será un aporte significativo en el área de la ingeniería automotriz, mejorando el desempeño de un vehículo automotor.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos del vehículo.

Objetivos específicos

- Diseñar y seleccionar los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para el sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo.
- Implementar un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo.
- Validar el funcionamiento del sistema de alerta temprana, monitoreo y control de presión de aire de los neumáticos de vehículo.

Metas

- Garantizar el proceso de auto inflado del vehículo cuando este se encuentre con un 10% de deficiencia de lo establecido por el fabricante.
- Generar la estabilidad y balance del vehículo en conducción, a pesar de los nuevos componentes que serán instalados en el vehículo.
- Implementar alertas tempranas al conductor, las cuales no distraigan ni interfieran en el manejo del vehículo.

Hipótesis

La implementación de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos del vehículo será fundamental para poder reducir significativamente el desgaste en los laterales del neumático, además que se reducirá la vida útil del mismo, con esto ganaremos de gran manera la seguridad para los conductores y ocupantes. Además, la integración, construcción y adaptación de este sistema será de fácil interacción y accesible para el conductor, por ende, será motivo de aceptación y uso del sistema en el mercado y podrá competir con los ya existentes.

Variables de investigación***Variable Independiente***

El diseño y construcción del sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo.

Variable Dependiente

Montaje del sistema alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos en un vehículo.

Capítulo II

Fundamento Teórico

En este capítulo se realizará un análisis investigativo de toda la información recopilada por los autores sobre el tema del proyecto a desarrollar. Esta información puede ser recopilada de libros, monografías, tesis, manuales o fuentes bibliográficas confiables que validen la información suministrada. Una parte primordial de la investigación es la acción de recopilación e indagación de datos, para de esta manera obtener respuestas a preguntas que no se pueden responder por simple criterio.

La presión de los neumáticos en un vehículo

Existe muchas interrogantes sobre cómo saber si el neumático está a una presión estable y adecuada o existe alguna deficiencia y en caso de existir deficiencia de presión, como prevenirlo o compensarlo. Por medio de la investigación se puede identificar procesos artefactos e incluso sistemas que pueden responder a estas preguntas por parte del usuario. (Ruiz, 2020).

Definiciones principales de la presión en un neumático

Un neumático normalmente en su trayectoria a de trabajo tiene una pérdida de presión de 1psi anualmente, pero esto sucede debido a la temperatura donde se encuentre el vehículo, este sea en lugares cálidos donde la presión en el neumático aumentara y en lugares fríos la presión disminuye se menciona esto es debido a la condensación del aire reduciendo o aumentando su volumen por la variación de temperatura. (López, 2018)

Cómo medir la presión

Una medición de la presión de aire del neumático se realiza con diferentes instrumentos neumáticos estos sean manómetros, válvulas neumáticas de medición, entre otras para la realización de esta medición de presión se lo hace colocando el instrumento de medición sobre la válvula del neumático, posteriormente nos brindará un valor por lo cual se procede a

realizar una comparativa con el manual de presión recomendada por el fabricante y se determina si el neumático se encuentra en una presión de inflado óptima y acorde para él trabaja.

Es importante medir la presión de los neumáticos cuando se encuentra a temperatura baja y sin operación alguna esto puede ser por la mañana o después de conducir unos kilómetros. Los neumáticos tienden a calentarse al estar en movimiento durante la conducción provocando que el mantenimiento no sea confiable en temperaturas altas, pero se recomienda agregar entre 2 a 3 psi a esta temperatura. (Goodyear, 2020)

Nitrógeno o aire en las ruedas

La utilización de aire común es muy frecuente en la mayoría de neumático del vehículo, pero la utilización de un aire como nitrógeno tiene algunos beneficios gracias a su estabilidad en relación al aire común entre este beneficio es la existencia de valores mínimos de caída de presión es decir que, si el neumático inflado con aire común y este se encuentra a temperaturas calientes, el aire existente dentro de la cámara del neumático aumenta por la expansión de partícula, mientras que a temperaturas frías el aire se contrae a diferencia de un neumático inflado con nitrógeno que si existe una variación de temperatura de trabajo la presión se mantiene y esto ayuda un mejor agarre al suelo evitando desgaste del neumático. En relación a costos se puede mencionar el valor de aire de nitrógeno en un neumático es mucho mayor sea esto por la obtención y embasamiento en comparación con el aire común que se puede encontrar en el medio y ser presurizado por un compresor de fácil acceso. (Mateo, 2014)

Representación de los neumáticos

Para comprender qué significan los números de nuestros neumáticos en la práctica, debemos comenzar con un ejemplo concreto, se usa el nombre de neumático P190/50 R 12 92W. A continuación, en la figura 2, se detalla las características de los números y especificaciones.

Figura 2

Significado de los números en un neumático



Nota. En la figura se especifica la numeración que se encuentra en un neumático. Tomado de (Crabi, 2023)

Descripción de los neumáticos

La primera letra expresa el tipo de vehículo que utiliza este tipo de neumático, en la figura 2 la letra P menciona que es un neumático para un vehículo de turismo

Por supuesto, existen otros tipos de caracteres asociados a la primera abreviatura:

- Abajo. LT: (Light Trailer)tráiler de luz
- ST: Introducción especial (tráiler especial)
- V T: Neumático para uso temporal o de emergencia.
- AT: (All Terrain)Todo Terreno

Altura del neumático

- En la figura 2 el número 190/50 corresponde a la relación entre el porcentaje de la altura y ancho del neumático que el resultado de esta relación es de 95mm del ancho con respecto a la altura
- La letra R corresponde a la estructura del neumático, por medio del apartado de la figura 2 se menciona que el neumático es de forma radial, y junto a dicha letra

existe un número que es 12 que indica el diámetro del neumático en unidad de pulgadas

- La sección 92W en la figura 2 indica el índice de carga y la velocidad máxima que puede rodar el neumático en este caso el número 92 es un peso equivalente 620kg y la letra W corresponde a una velocidad máxima de giro del neumático de 275km/h (Crabi, 2023)

Presión del neumático de acuerdo al rin de la llanta

Si todavía no se sabe cómo alinear sus llantas correctamente, incluso incorrectamente, también hay una medida estándar recomendada por algunos expertos con respecto al tamaño de las llantas, tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1

Presiones en los neumáticos

Radio del neumático	Presión de inflado del neumático
R13	26 PSI
R14	28 PSI
R15	30 PSI
R16	35 PSI
R17	38 PSI
R18	42 PSI

Nota. En la tabla se muestra la presión estándar para los neumáticos según su representación radial. Tomado de (Reserved, 2019)

Parámetros de presión en un neumático

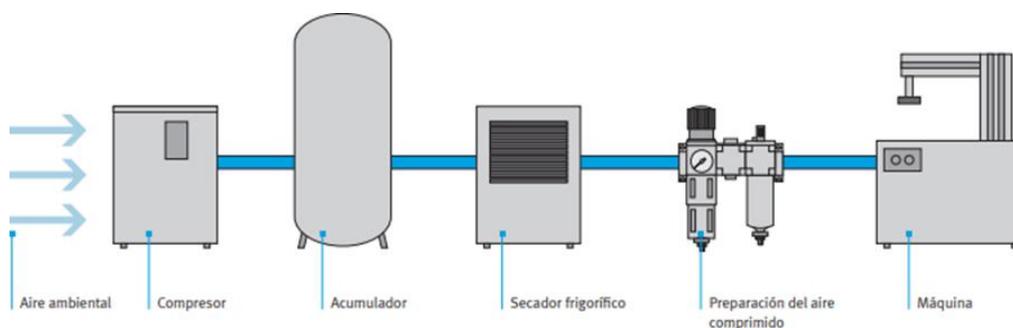
El aire comprimido en estado fundamental se utiliza para generar fuerza a través de actuadores neumáticos, ya sean lineales o rotativos, pero también para controlarlos y dar señales, finales de carrera y sensores, válvulas. Se utiliza aire comprimido puro, es decir, se realiza el control, la regulación y la automatización. Íntegramente, por aire comprimido, no representa ninguna manipulación electrónica o informática del sistema. Así, el aire comprimido se puede definir como una tecnología que utiliza aire comprimido para transmitir la energía necesaria para mover y operar maquinaria. El aire es un material elástico, por lo que cuando se le aplica una fuerza, se contrae, mantiene la contracción y devuelve la energía almacenada cuando se le permite expandirse. (Mendoza, 2023)

Aire comprimido

Al existir agentes o partículas dentro del aire comprimido es muy frecuente la existencia de deterioro y daños a la funcionalidad del compresor u otros sistemas de aire presurizado continuamente mediante la figura 3, se puede observar el circuito básico y característico utilizado para transportar aire comprimido.

Figura 3

Recorrido del aire comprimido hasta el consumidor



Nota. En la figura se muestra el recorrido del aire comprimido para el posterior consumo de dicho aire. Tomado de (Rodríguez, 2019)

El aire comprimido se suele dividirse en:

- Aire de servicio: el aire se usa para servicios generales (como bombas de aire pequeñas, arrancadores de compresores de gas, herramientas neumáticas, limpieza con chorro de arena, etc.). Se comprime y almacena sin secado.
- Aire de instrumentación: se utiliza en válvulas de control y válvulas de encendido/apagado y motores neumáticos pequeños. En este caso, el aire atmosférico se comprime, se almacena en un medidor de volumen, se filtra y se seca para su uso en instrumentos.

El aire comprimido se toma de la atmósfera y se alimenta a los compresores para lograr las condiciones de presión adecuada. Una vez cuando alcanza su presión óptima el aire comprimido es transportado por tuberías hacia los prefiltros, y luego se divide en dos corrientes: la parte de aire los servicios se dirigen directamente a su contenedor, mientras que parte el aire para los instrumentos se seca y se vuelve a filtrar en filtros posteriores almacenado más tarde en la caja del instrumento. (NV, 20014)

Componentes básicos de una conexión de aire comprimido

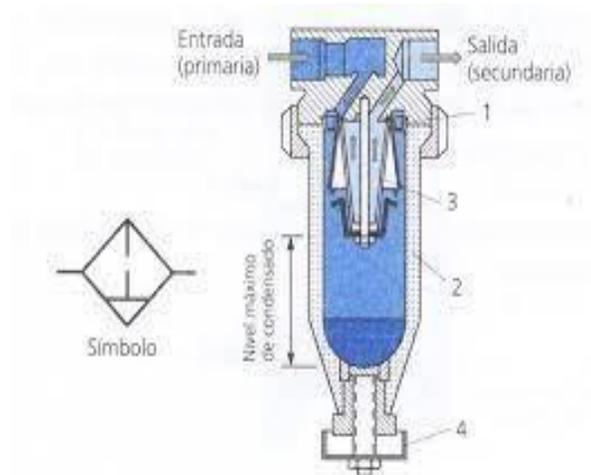
Los componentes principales que conforman una conexión de aire comprimido, este puede ser de manera industria o taller automotriz y se describe a continuación:

- **Compresor.** Son máquinas que aspiran el aire del ambiente a una cierta presión atmosférica y se comprime hasta alcanzar una presión superior según las necesidades de consumo o finalidad de este aire comprimido, como por ejemplo activar mecanismo por medio de aire comprimido como mecanismos de control o medida, válvulas de operación y otros dispositivos.

- **Unidad de alimentación.** (Vergara, 2016) Menciona que la unidad de alineación constituye el filtro y regulador de presión. El filtro trabaja para eliminar las impurezas generadas por el compresor.
- **Filtro.** Disuelve los contaminantes separándolos usando fuerza centrífuga, cartuchos porosos de 5 a 100 micras que requieren un mantenimiento periódico, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Filtro de aire



Nota. En la figura se identifica el proceso de preparación de aire. Tomado de (Nalón, 2009)

- **Regulador de presión.**

Para mantener un control del aire comprimido dentro de un sistema existe un elemento de vital importancia denominado regulador de presión, este elemento controla la entrada y salida de aire presurizado existente dentro de las cañerías de un sistema neumático, el regulador de presión principales se utiliza para reducir el exceso de presión

que existen dentro de un sistema se aire presurizado para posteriormente este aire ser utilizado en máquinas o herramientas neumáticas evitando así una sobrepresión excesiva.

Figura 5

Regulador de presión



Nota. En la figura se observa el regulador de presión con orificio de escape. Tomado de (S.A. de C.V., 2018)

Hay varios componentes del compresor de aire que dependen de estos controles para funcionar correctamente. Entre estos elementos de control se encuentran presostatos, válvulas check, válvulas eléctricas, etc. Dichos componentes no son de uso único en un sistema de aire presurizado, sino que también se utilizan en otros sistemas que controlen el paso de algún fluido o elemento, por lo que el mantenimiento de estos elementos es recomendable ya que ayuda a prevenir algún desperfecto del sistema en general o evitar daños graves en todo el sistema. (Brathwaite, 2021)

Sistema de auto compensación de aire a los neumáticos

El sistema automático de inflado de neumáticos controla constantemente la presión de los neumáticos y la corrige si es necesario como se muestra en la figura 6. Es la diferencia entre una llanta pinchada y una llanta no reparada. Dado que el sistema de inflado automático

infla aire continuamente, el automóvil no se detiene y continúa rodando. Posteriormente se procede inmediatamente después de un pinchazo una revisión del daño ya en un centro de mantenimiento calificado. (pruebaderuta, 2023)

Figura 6

Sistema de auto compensación de aire a los neumáticos



Nota. En la figura se visualiza el sistema de auto compensación de aire a los neumáticos.

Tomado de (pruebaderuta, 2023)

Los neumáticos son elemento donde existe mayor gasto económico por parte de la población vehicular ya que un rango del 20% de desperfectos no son causado por los neumáticos en mal estado

Procesos de operación

El proceso comienza al detectar una caída en la presión del aire en las ruedas, el sistema de monitoreo alerta y control mediante sensores, y el sistema neumático de electroválvulas detectan la anomalía. Posteriormente activan una alarma visual y sonora informando al conductor; a su vez, permite que el sistema neumático suministre de aire determinando a una caída de presión fija. El aire ingresa mediante la apertura de la electroválvula dando paso al aire hacia los neumáticos y así sea posible la recarga. El

compresor se enciende con una fuente de alimentación de la batería del vehículo un voltaje de 12 V CD y 80 Ah.

Normativas técnicas de seguridad en los neumáticos

RTE INEN 034

La normativa menciona que una integridad segura de proteger la vida de las personas, así como motivar una conducción segura del conductor pasajero y peatón es seguir el reglamento técnico vehicular en mantener el correcto estado del neumático para transitar por las vías y carreteras del país.

Componentes electrónicos a implementarse

Los componentes electrónicos son todos los dispositivos que forman parte de un circuito electrónico. Se los encuentra con cuerpos de metal, plástico o cerámica; estos elementos se ocupan de las cantidades eléctricas y su variación. Su propósito es recopilar información, transmitirla o utilizarla para controlar muchos sistemas de energía.

Los componentes electrónicos están diseñados para interconectarse, generalmente mediante soldadura, y se clasifican por función, estructura física, material base de fabricación y tipo de fuente de alimentación. Son esenciales en el desarrollo de la industria y la automatización de diferentes máquinas o partes mecánicas, partiendo de la importancia de los componentes eléctricos y electrónicos se indagará elementos que permiten la elaboración del proyecto de manera óptima.

Conexión inalámbrica

La conexión inalámbrica es un estándar de comunicación inalámbrica. Su tecnología elimina la necesidad de innumerables y engorrosos cables que normalmente se conectan a computadoras, teléfonos móviles, computadoras portátiles y todo tipo de dispositivos móviles. (Canal Software, 2001).

Conexión Bluetooth

En los dispositivos digitales, un pequeño chip Bluetooth incorporado contiene un transmisor de radio, luego la tecnología Bluetooth se encarga de realizar todas las conexiones al instante, sin usar un solo cable. Es decir, describe cómo se pueden interconectar todo tipo de dispositivos inalámbricos, tanto en el hogar como en la oficina, mediante una conexión de corto alcance. (Canal Software, 2001)

Bluetooth es una característica que define las redes de zonas individuales inalámbricas según el estándar IEEE 802.15.1. Esta especificación define la capa física y controla el acceso a los medios. Estas redes están diseñadas para transmitir datos y establecer una frecuencia en distancias áreas entre un solo grupo de dispositivos. A diferencia de la conocida red LAN inalámbrica, están fabricadas para captar poca o ninguna infraestructura. Este protocolo está destinado principalmente a dispositivos de baja potencia que requieren distancias de transmisión cortas y se basa en transceptores económicos. Los dispositivos que utilizan este protocolo pueden comunicarse entre sí mientras están dentro del alcance. Debido a que la comunicación es por radiofrecuencia, los dispositivos no necesitan estar coordinados e incluso pueden ubicarse en diferentes partes de la casa si funcionan con suficiente potencia. La capa de transceptor físico consta de sus componentes asociados. Utiliza la banda ISM13 para uso no reglamentario en la banda de 2,4 GHz, lo que facilita lograr la calidad de la señal y la compatibilidad del transceptor. Además de esta capa de radiofrecuencia, existen otras capas que manejan la forma de encontrar y remediar los errores, el establecimiento de conexiones, la autenticación de usuarios y el control de tráfico. (Muñoz, 2019)

Conexión Wifi

Una tecnología que surge de la necesidad de establecer un método de conexión inalámbrica compatible con diversos dispositivos. Por lo tanto, la misión de la alianza fue desarrollar una marca que simplifique la promoción de la tecnología inalámbrica y garantice la

compatibilidad entre dispositivos. Sin embargo, las frecuencias utilizadas en esta tecnología de transferencia de datos son diferentes, como 2,4 GHz para 802.11n y 5 GHz para 802.11 AC. Actualmente, aunque los 5 GHz ofrecen un rendimiento excelente, se utilizan ambas frecuencias y, además, en los equipos de mayor rendimiento, se combina la transmisión de datos en ambas bandas. (Valero, 2023)

Microcontroladores

Según (Ceja, 2017) en la actualidad existen innumerables dispositivos electrónicos que están presentes con nosotros en nuestra vida diaria y la necesidad de comunicarse con ellos, intercambiar información y realizar funciones de forma remota a través de Internet es cada vez mayor. Para poder unir esta conexión, es necesario utilizar la interfaz entre estos dispositivos y el mundo de Internet.

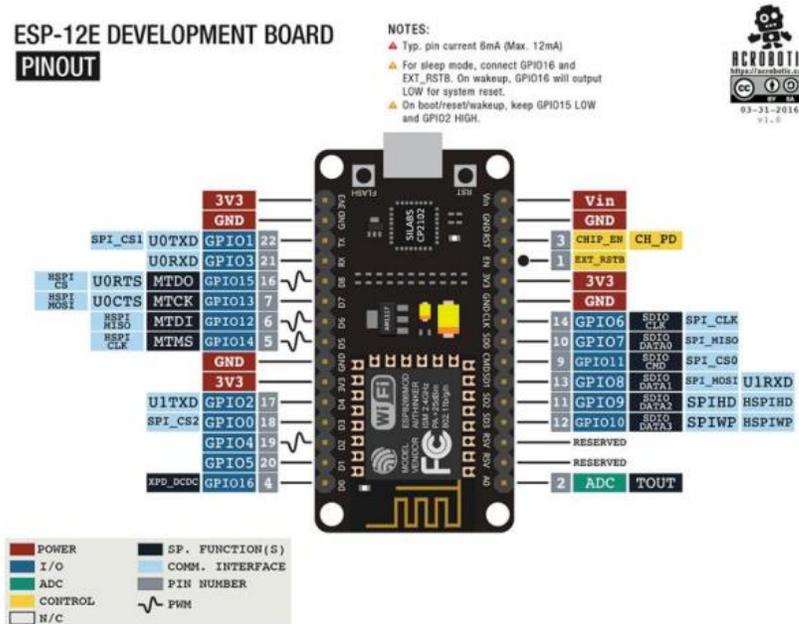
ESP8266

Según (Valderrama, 2020) ESP8266 es un microprocesador que al día de hoy es uno de los más ocupados para servicios auxiliares en los ordenadores PC, siendo un aporte extra para la comunicación convencional que se usa en los medios electrónicos como es la red mediante cables y transferencia de datos, sino que realiza un trabajo beneficioso a larga distancia entre dispositivos que es la comunicación inalámbrica a internet mediante conexión Wifi.

La principal función de utilizar procesadores de pequeños dimensionamientos es que estos componentes son capaces de realizar tareas de operaciones de monitoreo y control automático mediante el cambio de datos. (Valderrama, 2020)

Figura 7

Microcontrolador ESP8266



Nota. En la figura se muestra la distribución de pines del microcontrolador ESP8266. Tomado de (Valderrama, 2020)

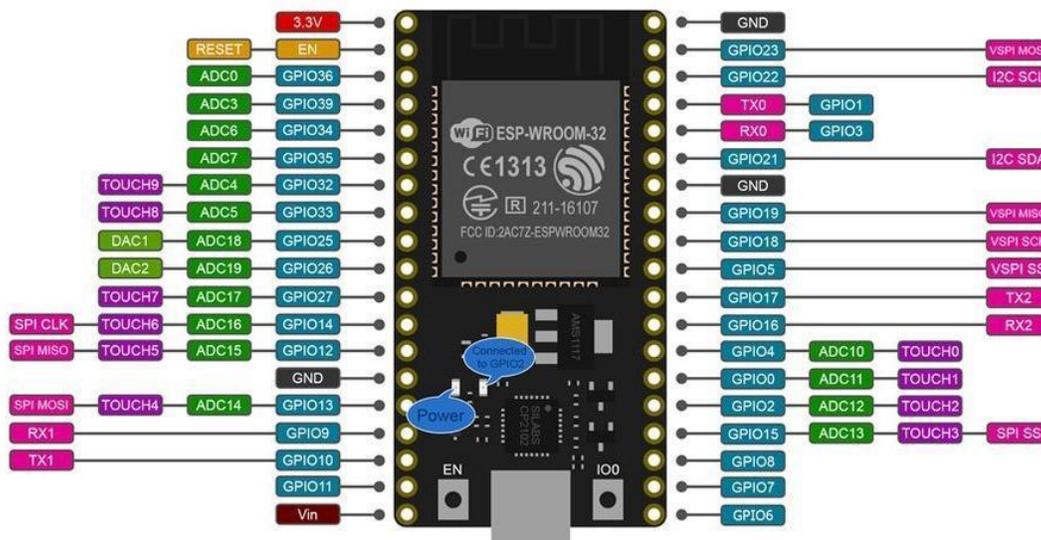
ESP32

Según (Carmenate, 2022) el procesador ESP32 pertenece a un grupo de chips que son reconocidos por la versatilidad que controla a los componentes eléctricos y electrónicos, con el gran punto a favor que son de fácil adquisición en el mercado, de esta manera dejando por detrás a la competencia de procesadores, cabe recalcar que para poder liberar toda la capacidad se necesita conocer de todas sus funciones y limitantes que tiene al momento de controlar a los sistemas que estén adyacentes al mismo.

La manera que suele trabajar es como maestro de datos, esto nos quiere decir que va estar recibiendo datos de otros microcontroladores por los que procesara esta información y será capaz de ejecutar operaciones de control. (Carmenate, 2022)

Figura 8

Microcontrolador ESP32



Nota. En la figura se muestra la distribución de pines del microcontrolador ESP32. Tomado de (Uriarte, 2020)

Protocolo Espnow

El protocolo ESP-Now que podemos utilizar en los microcontroladores ESP32, ESP8266 y por supuesto el resto de la familia ESP. ESP-Now es un protocolo en el cual se establece una comunicación multidispositivo desarrollado por Espressif. Este componente es similar pensado en la competencia de dispositivos de bajo consumo que operan en la banda de 2,4 GHz. Requiere el emparejamiento de dispositivos para funcionar, pero una vez que se establece la conexión, sucede automáticamente. (Carrasco, 2021)

Comunicación maestros y un esclavo

Esta forma de programar nos dará el beneficio nos permitirá tener una placa que actúe como esclava que recibirá datos de varias placas base. Este tipo de configuración es útil para transmitir datos. Esta configuración le permitirá transferir todos los datos de sus sensores y

almacenarlos centralmente en un solo lugar, tal como se muestra en la figura 9. (Carrasco, 2021).

Figura 9

Comunicación Maestro esclavo



Nota. En la figura se muestra la comunicación de varios maestros y un esclavo. Tomado de (Carrasco, 2021)

Sistema de monitoreo de presión de neumáticos o TPMS

es nombrado por ayudar a los propietarios de los vehículos a mantener la presión de aire en los neumáticos en óptimas condiciones para su trabajo del automotor, realizando un trabajo de monitoreo y siendo el caso la alertar al conductor. Este sistema te notifica, generalmente mediante la activación de una luz de advertencia en el tablero, cuando la presión de los neumáticos cambia en un 25 % o más. Estos sensores electrónicos automotrices utilizan señales de radio para transmitir mensajes en el rango de frecuencia de 315 MHz a 915 MHz, dependiendo del área en la que emitimos.

Los sensores que realizan el trabajo de monitorear la presión del aire en los neumáticos son adjuntados en las válvulas, conformando un solo componente y así siendo instalado en cada llanta, son nombrados como TPMS directos. Las mediciones de aire a presión de los

neumáticos se transmiten por radio a la unidad de control central y, en caso de fuga de aire, la señal correspondiente notifica al conductor. Los sistemas indirectos (i-TPMS) pueden aproximar la presión de los neumáticos utilizando los sensores ya instalados en el vehículo, como el sensor de velocidad de la rueda que se usa comúnmente en los sistemas ABS. Aunque los TPMS directos son más costosos que los métodos indirectos, también son más susceptibles a daños debido a que los sensores de presión están expuestos al polvo, el agua y las fluctuaciones de temperatura. (Formentin, 2021)

TPMS Directos (dTPMS)

Según (Martín, 2021) los TPMS directos consisten en un sensor integrado en el neumático encargado de medir tanto la presión como la temperatura y transmitir estos datos mediante ondas de radio a un receptor central. El mismo cumple la función de avisar al conductor cuando se produzca una incidencia. Los sensores de este tipo normalmente advierten de una caída de presión superior a 10 kPa (aproximadamente 0,1 bar).

La duración promedio de la batería de estos sensores es de alrededor de 7 años, sin embargo, aunque son baterías de litio de larga duración, pueden oscilar entre 3 y 10 años, siempre pensando que intervienen muchos factores, como los sensores de frecuencia de prueba, el uso del vehículo e incluso a los grados de temperatura que se encuentra el sistema. Para poder designar un mantenimiento correctivo a dicho sensor de alerta hay que tener en cuenta que al ser un sensor piezoeléctrico que se adjunta su propia batería trayendo el beneficio que tiene una larga duración pero al momento que esta se agote no existe un proceso de regeneración, recomendando que se debe reemplazar todo el componente, de esta manera proporcionando un buen plan de mantenimiento. Esto debido a que todos los sensores se instalaron el mismo día y recibieron los mismos datos. Al usar todos los sensores se cree que cuando se necesita reemplazar uno de los sensores, los otros deberán reemplazarse en breve, ya que se desgastan por igual y, por lo tanto, la batería tendrá una vida útil igual. (Martín, 2021)

TPMS indirecto (iTPMS)

Según (Martín, 2021) el TPMS indirecto consiste en utilizar sensores disponibles en ABS o ESP, que se encargan de medir la presión de aire de los neumáticos mediante algoritmos sencillos. El TPMS indirecto consiste en utilizar sensores existentes en el ABS o ESP, que se encargan de determinar la presión. Los neumáticos utilizan algoritmos simples que tienen en cuenta su velocidad de rotación y diámetro, después del cálculo, transmiten estos datos a la unidad de control del motor (ECU), "Unidad de control central", para obtener una advertencia de presión incorrecta. en ese caso sucede.

Resulta limitado distinguir este tipo de sistemas cuando se utilizan neumáticos de cámara baja. Este tipo de neumáticos tienen las paredes duras y cortas, donde la caída de presión hace que la caída del diámetro sea tan pequeña que es difícil detectar estas pérdidas de presión. Por otro lado, los neumáticos que son de constitución de cámara alta y paredes laterales más grandes son mucho más beneficiosos con este tipo de sistema. Otro detalle a tener en cuenta para este tipo de sensor es que el sensor TPMS indirecto no puede detectar la pérdida de presión en todas las ruedas del vehículo al mismo tiempo. (Martín, 2021)

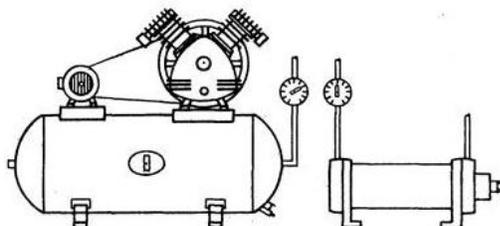
Componentes neumáticos

Compresor de aire

Según (Milla-León Rodríguez, 2020) menciona que una máquina herramienta capaz de reducir el volumen de aire en un depósito mediante la rotación del conjunto biela manivela se lo puede denominar compresor. También cabe mencionar que las particularidades técnicas a considerar en los compresores neumáticos son: el caudal entregado y la proporción de compresión, como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Compresor neumático



Nota. En la figura se visualiza un compresor de dos pistones tipo abierto. Tomado de (Airpol, 2023)

Depósito de aire comprimido.

Un contenedor metálico capaz de soportar altas presiones sin emitir fugas es apto para captar aire comprimido, la función principal de ir adyacente al motor eléctrico que succiona el aire es que este servirá como estabilizador en el momento que este realice su trabajo. Esto es importante ya que en el área de trabajo representa un riesgo si una máquina herramienta se encuentra vibrando un moviéndose de su sitio. Otra característica que debe cumplir el depósito de aire es que debe tener una válvula de desfogue porque al momento que el aire se encuentra a gran presión y masa en el fondo se acumula partículas de agua.

El aire comprimido lo manipulamos de una manera óptima y cuidadosa evitando tener una lesión el usuario, según (Belflex., 2008) el aire presurizado almacenado se utiliza para suministrar aire a sistemas que lo requieran como herramientas de trabajo por presión neumática, sistemas de limpieza, neumáticos de vehículos, entre otros. Los elementos con el cual consta el depósito de aire presurizado son los mencionados a continuación. (Salvador, 1993)

- Válvula de seguridad

- Llave de purga para evacuar fluidos condensados existentes en el sistema.
- Presostato para encender o apagar el motor de acuerdo a la cantidad de almacenamiento del depósito y sea requerido por el usuario.

Figura 11

Depósito de aire comprimido



Nota. En la figura se observa un depósito de almacenamiento de aire comprimido. Tomado de (Morant, 2023)

Los tanques de aire comprimido son componentes esenciales de los sistemas de aire presurizado, ya que se utilizan para almacenar y amortizar el consumo máximo. Los depósitos de aire comprimido son actualmente monitoreados para garantizar un óptimo rendimiento de ellos en el almacenamiento de aire comprimido u otro compuesto que sea contenido a presión, dando una gran importancia a una instalación perfecta y sin complicaciones, tal como se muestra en la figura 11. (Salvador, 1993)

Electroválvulas neumáticas

Las válvulas controladas por la energía eléctrica son accionadas por materiales ferromagnéticos, debe a ver suceder condición que fluya corriente por su núcleo y así estos realicen la operación de dar apertura a la válvula Cuando la corriente fluye a través del electroimán, se crea un campo magnético que atrae al núcleo en movimiento. En el momento

que deja de fluir corriente por estos componentes el mecanismo de resorte deja de hacer su función y el mecanismo regresa a su posición inicial. Es ideal para la automatización industrial, las válvulas de solenoides se utilizan en muchos sistemas e industrias que manejan líquidos como agua, aire, vapor, aceites livianos, gases inertes, etc. Las electroválvulas en particular se suelen utilizar en lugares de difícil acceso, ya que pueden accionarse eléctricamente, también se utilizan en vacío de altas presiones y altas temperaturas, tal como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Electroválvulas



Nota. En la figura se muestra un modelo de electroválvulas neumáticas 2/2-vías. Tomado de (Industrial, 2023)

Interruptor de presión

Un interruptor de presión ajustable permite que el micro interruptor se comunique una vez que se ha alcanzado el valor de presión establecido, la presión preestablecida se cambia girando el tornillo ubicado en el centro del interruptor de presión, en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la presión y en el sentido contrario a las agujas del reloj para disminuir la presión, tal como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Interruptor de presión



Nota. En la figura se observa una variedad de interruptores de presión que se pueden utilizar acorde al trabajo a realizar. Tomado de (Inc, 2022)

Un interruptor de presión es un dispositivo mecánico o electrónico que se activa cuando la presión del fluido en el proceso alcanza un determinado umbral o punto de referencia. El presostato puede ser diferente según se trate de un tubo de ``Bourdon``, un pistón, un diafragma se mueve o se deforma según la cantidad de presión generada por el sistema. Por ejemplo, un interruptor de presión de aire se usa para mantener una presión constante y puede apagar el compresor cuando se alcanza la presión de aire requerida en el recipiente. Si la presión de aire cae y se necesita más, el interruptor también puede encender el compresor, el interruptor de presión no debe confundirse con el sensor de presión, este último convierte la presión en una señal de salida eléctrica. (Inc, 2022)

Definiciones del sistema neumático

Un sistema neumático cumple la función de proporcionar aire a presión para poder realizar movimientos mecánicos como puede ser de cilindros, mecanismos o compensar pérdidas de presión en sistemas cerrados. El factor a tomar en cuenta en estos sistemas es

que la hermeticidad de los conductos, uniones debe ser la óptima para poder cumplir la eficacia en el momento de ejecutar una operación mediante el uso de este fluido.

Ecuación general de la energía

(Mott, 2006) expresa la ecuación general de la energía con respecto al peso del fluido. (p. 202).

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 1

Ecuación general de la energía

Donde:

P1: presión al inicio (Pa)

γ : peso específico del fluido $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

Z1: Altura del depósito a la bomba(m)

V1: Velocidad del fluido inicial $\left(\frac{m}{s}\right)$

g: Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

hR: Energía del fluido por medio de un motor(m)

ha: Energía proporcionada por la bomba(m)

P2: Presión al final(Pa)

Z2: Altura de la bomba hacia el inyector(m)

V_2 : Velocidad el fluido al final $\left(\frac{m}{s}\right)$

h_l : Pérdida de energía debido a la fricción(m)

Tasa de flujo volumétrico

(Mott, 2006) menciona que el flujo volumétrico o tasa volumétrica, es el volumen del fluido que pasa por una superficie en un tiempo determinado se representa con la letra Q con este apartado se puede mencionar el tamaño requerido en la tuberías o tubos para transportar una cantidad de flujo de un fluido a una velocidad específica. (p.153)

$$Q = A \cdot v$$

Ecuación 2

Tasa de flujo volumétrico

Donde:

Q : Flujo volumétrico o caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A : Área de la sección(m^2)

v : Velocidad promedio del flujo $\left(\frac{m}{s}\right)$

Volumen de un sólido de revolución

(Leithold, 1998) menciona que el área de una región plana condujo a la definición de la integral definida. Por lo que en el proceso se emplea la fórmula de la geometría plana para el área de un rectángulo. Ahora se utiliza un proceso semejante con el propósito de obtener volúmenes de algunos tipos particulares de sólidos donde se menciona la integral para el volumen de sólido de revolución al hacer girar, alrededor de una recta $x=b$, la región interior de un círculo $R^2 + r^2 = a^2$ en donde $b>a$. (p. 385).

$$V = \pi \int_a^b (R^2 + r^2) dx$$

Ecuación 3

Volumen de un sólido de revolución

Donde:

V: volumen(m³)

R: radio mayor(m)

r: radio menor(m)

a, b: límite de integración

Caudal

(Mott, 2006) afirma la definición de caudal como el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo. (p. 154)

$$Q = \frac{V}{T}$$

Ecuación 4

Caudal

Donde:

Q: caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

V: Volumen (m³)

T:Tiempo(s)

Peso específico

(Mott, 2006) menciona que “el peso es la cantidad que define el cuerpo de un fluido, es decir, la fuerza con la que el fluido es atraído hacia la tierra por el trabajo de la gravedad $\gamma =$

$1.29 \frac{kgf}{m^3}$. Donde γ corresponde al peso específico del aire”. (p. 4)

Capítulo III

Diseño del sistema alerta temprana, monitoreo y control

Este capítulo trata sobre el diseño de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de los neumáticos, teniendo presente las necesidades, limitaciones y requisitos que existen en el sistema para que sea el más eficiente, y que estos sean analizados e implementados en el sistema de acuerdo al criterio y análisis de los autores. A continuación, se detallarán en cada uno de los puntos, el criterio de diseño de cada una de las partes que componen al sistema dentro de estos puntos, se consideran los componentes electrónicos y mecánicos para el desarrollo del sistema que funcione correctamente al instalarlo en un vehículo.

Necesidades

El sistema de alarma temprana, control y monitoreo de los neumáticos es fundamental para poder dar un seguimiento continuo al estado, vida útil de los mismos. Es necesario saber cuáles son las consecuencias de rodar a un vehículo bajo la presión recomendada por el fabricante; de esta manera se provoca un desgaste prematuro en los neumáticos y deficiencia cuando el vehículo está en movimiento.

Requerimientos

Los puntos primordiales que debe abarcar el sistema propuesto, es que debe ser constituido por materiales y componentes de alta resistencia con el fin que no sean afectados en su parte física fácilmente, teniendo en cuenta que el sistema de monitoreo siempre va estar sometido a fuerzas por la rotación de los neumáticos. El diseño propuesto debe ser de tamaño reducido con el fin que pueda ser adaptado a cualquier vehículo; la ubicación del sistema de alerta debe cumplir con la intención de alertar al piloto del estado de presión de sus neumáticos, pero no debe distraer ni incomodar en el momento de la conducción.

Restricciones

El diseño propuesto no debe dejar pasar por alto que el costo del sistema, como también no debe ser excesivo para que sea competitivo con los sensores TPMS que existen en el mercado, logrando ganar un punto a favor permitiendo que la inversión sea rentable. Así la instalación del sistema sea novedosa para las personas y comiencen a monitorear sus neumáticos. Otra restricción de sistema es que el vehículo debe contar con una pantalla Android para poder instalar la app de alerta y monitoreo ya que de esta manera el interfaz genera más puntos de calidad y estética al sistema. Si no se dispone de dicha pantalla, se puede incorporar un Lcd programable por Arduino, teniendo en cuenta que no tienen mucha resolución.

Alternativas de diseño

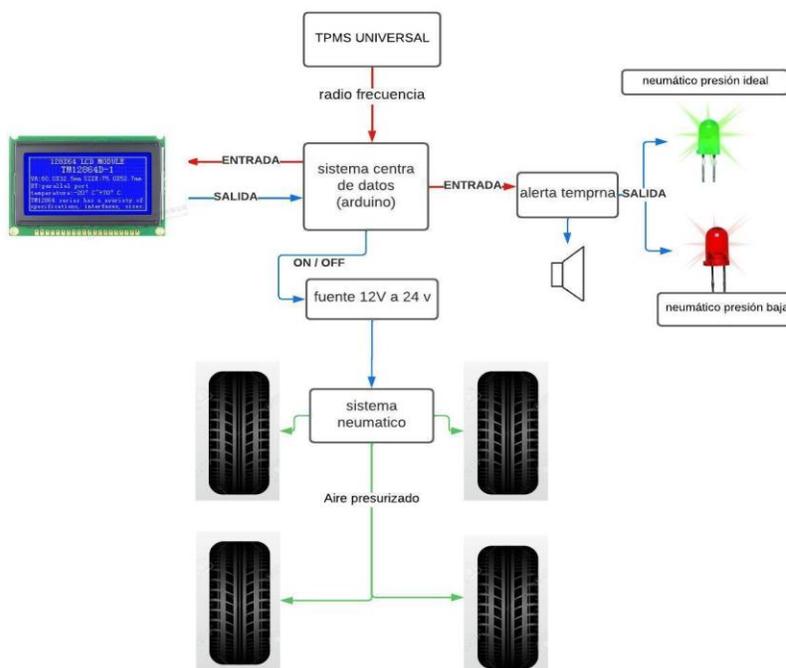
Alternativa 1

La primera alternativa que se propone es la implementación un sensor TPMS universal el cual se decodifica para obtener la señal de transmisión de datos hacia una pantalla para que este realice un monitoreo continuo y en tiempo real de la presión que existe en el neumático. Se considera la existencia de posibles causas de falla de la pérdida de presión de aire del neumático, el factor de estas fallas puede ser causada por deterioro, objetos externos corto punzantes, entre otros. Cuando el neumático se encuentra dañado, baja la presión de aire con la que el neumático debe estar inflado de acuerdo a estándares del fabricante, ocasionando una pérdida de potencia, detenimiento forzoso del vehículo si está realizando un trabajo. Además de problemas al circular por la carretera, por lo tanto, se planteó medir la presión absoluta de aire del neumático mientras el vehículo se encuentre en movimiento o estático, con la finalidad de detectar posibles fugas por la válvula de ingreso de aire al neumático donde se instalará el sensor universal decodificado. En el caso de existir alguna fuga o pérdida de presión por la válvula de ingreso de aire en el neumático, provoca que no retenga suficiente

aire en las cámaras del neumático y por ende el vehículo tendría que detenerse forzosamente, para un recambio de neumático, tal como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Alternativa 1



Nota. En la figura se muestran sensores y señales complementarias dentro del sistema, considerados por los autores en la alternativa 1.

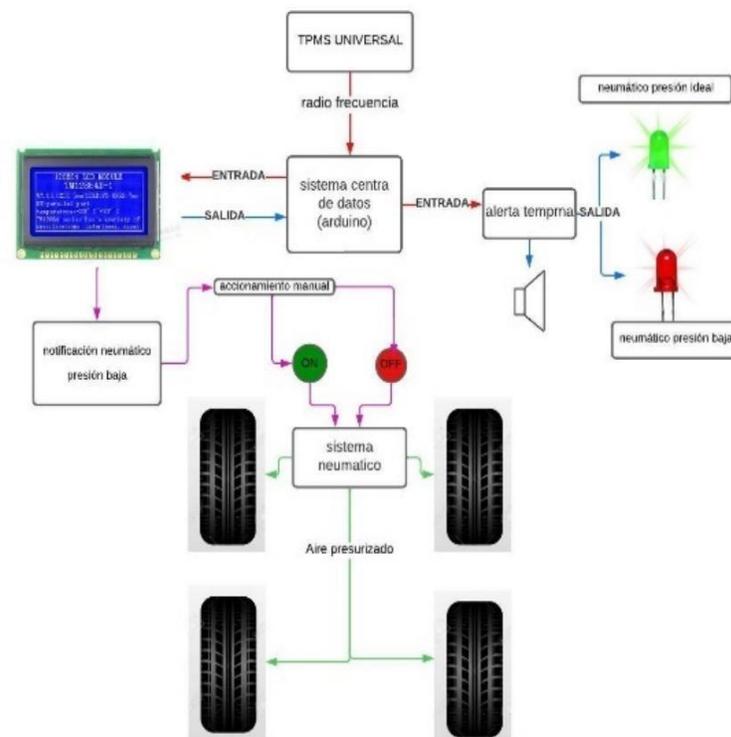
Los datos que se obtienen por estos sensores están reflejados en una pantalla táctil dando valores de presión que irían cambiando de acuerdo a lo que se lea en el sensor. Con respecto a la alerta temprana se propuso que existiera una alerta visual y sonora que se activará cuando los sensores detecten valores fuera del rango normal de funcionamiento. Y finalmente, se propuso un sistema de auto compensación del aire del neumático automático, permitiendo al conductor pueda seguir circulando al activar el sistema de auto inflado del neumático hasta llegar a un centro de mantenimiento mecánico y resolver el desperfecto.

Alternativa 2

Se ilustra en la figura 15, la segunda alternativa se propone que, para simplificar los procesos de construcción y electrónica, realizar un sistema neumático mecánico el cual será activado por una válvula unidireccional de caudal regulable que permita el paso de caudal cuando el conductor realice la acción de abrir esta válvula. El sistema de alerta y monitoreo será el mismo pero el piloto siempre tendrá que estar realizando la acción de abrir la válvula cuando el sistema de monitoreo refleje en la pantalla valores numéricos con deficiencia de presión de aire en los neumáticos y esperar que el sistema lo recargue. Además, que debe estar pendiente el conductor que llegue a la presión adecuada de aire y cerrar la válvula reguladora de caudal del sistema de compensación de dicho neumático.

Figura 15

Alternativa 2



Nota. En la figura se muestran los sensores y señales complementarias dentro del sistema, considerados por los autores en la alternativa 2.

Alternativa 3

Para la tercera alternativa se plantea la utilización de un sensor TPMS el cual se pueda decodificar para obtener la señal de transmisión de datos hacia una pantalla para que este realice un monitoreo continuo y en tiempo real de la presión que existe en el neumático, además de una alerta visual, sonora y un sistema neumático de auto compensación manual. Esto con la finalidad de que el conductor o usuario del vehículo si se encuentra en carretera viajado o al encender su vehículo, el sensor emitirá datos en la pantalla que se visualice que si existe una pérdida de presión de aire del neumático por debajo del rango de trabajo establecido por el fabricante se encienda una alarma visual y sonora, dando paso al conductor ser alertado de la deficiencia de aire en su neumático permitiendo este de manera manual active un sistema neumático de auto compensación de aire a la llanta.

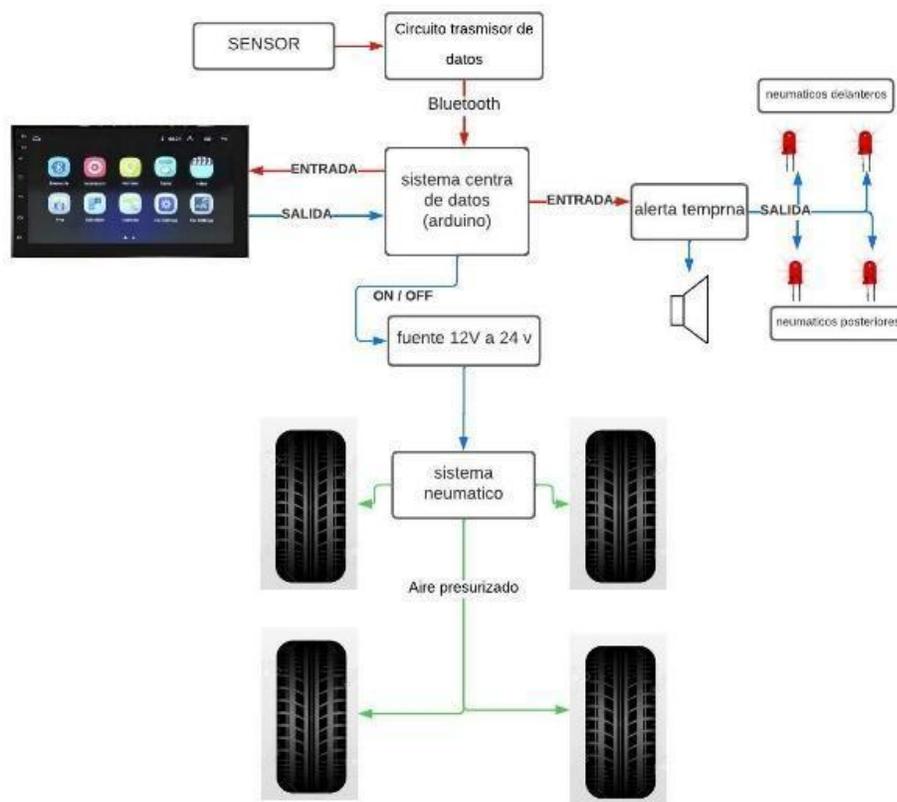
También se presenta la idea que el sistema neumático de recarga de aire comprimido en un depósito es automático, pero el paso de aire para la auto compensación del neumático sea de forma manual esto se puede visualizar en el diagrama de la figura 15. Esta idea se plantea debido a que otro inconveniente sea la adquisición de materiales de un sistema neumático prefabricado para vehículos no exista dentro del rango del país, ya que en disponibilidad de materiales dentro del territorio ecuatoriano si se cuenta con variedad de compresores y depósitos de aire comprimido necesarios para la auto compensación de aire que se requiere realizar en el proyecto.

La información emitida por los sensores se observa reflejada de igual manera en una pantalla táctil ubicada en una parte visible para el usuario o conductor. En la parte de las alertas de la alarma se pensó en la implementación de una alerta visual que se utilizarán luces

Led multicolor, y una alerta sonora para avisar al conductor de las fallas de presión de aire del neumático, tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16

Alternativa 3



Nota. En la figura se muestran los sensores y señales complementarias dentro del sistema, considerados por los autores en la alternativa 3.

Evaluación de alternativas

Tras la indagación y el análisis se puede seleccionar cuál de las alternativas propuestas es la más óptima y factible para el desarrollo de un sistema de alarma, control y monitoreo de la presión de aire en los neumáticos. Es necesario evaluar diferentes aspectos que se consideraron las más apropiadas a las necesidades que se tiene en el desarrollo del sistema.

En la tabla 2 se presentan los parámetros de evaluación más acordes que se tomaron en cuenta para la selección de la mejor alternativa.

Tabla 2

Parámetros de evaluación de las alternativas

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Funcionalidad	3	3	4
Disponibilidad de Materiales	3	2	4
Costo	4	4	3
Facilidad de Instalación	3	3	2
<i>Codificación</i>	2	2	4
Total	15	14	17

Nota. Se presentan los valores de evaluación en la siguiente tabla de las diferentes alternativas. Considerando una puntuación de (0) como la puntuación más baja al elegir una opción y (5) como la puntuación más alta en la selección de una opción, y el total de la sumatoria más alta es la mejor alternativa.

Selección de alternativas

En consideración con la tabla 2, la alternativa 3 fue la que mejor puntuación obtuvo de acuerdo a los parámetros seleccionados por los autores. Sin embargo, debido a que todavía le falta algunas mejoras en algunos aspectos, se decidió tomar algunas ideas de las otras dos alternativas para complementar e implementar en la alternativa seleccionada. Esto con la finalidad de satisfacer todas las necesidades requeridas para el sistema. Se consideró que es

necesario tomar en cuenta parámetros del neumático, presión y que se pueda instalar en cualquier tipo de vehículo. Con respecto a la parte del sistema de presión de aire se planteó medir el caudal, tiempo de recarga del aire. Para la parte de las alertas de la alarma se planteó implementar dos alertas antes mencionadas en las alternativas, ya que se consideró que todas son muy importantes a la hora de avisar al conductor sobre un desperfecto en el sistema. Y finalmente la opción más viable y fácil de implementar en la parte de control por medio del sistema neumático.

Dimensionamiento del armazón del circuito de monitoreo

En el dimensionamiento se debe llevar un enfoque centrado en el armazón que va a albergar el circuito electrónico del sensor a implementar, ya que este elemento es una parte del sistema que se encontrará expuesto externamente a una zona visible dentro del aro del neumático del vehículo. Además, esta debe estar al alcance del usuario y debe adaptarse al diseño exterior, para que éste dé un toque estético y se pueda ajustar a la geometría del vehículo, tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Dimensionamiento del armazón



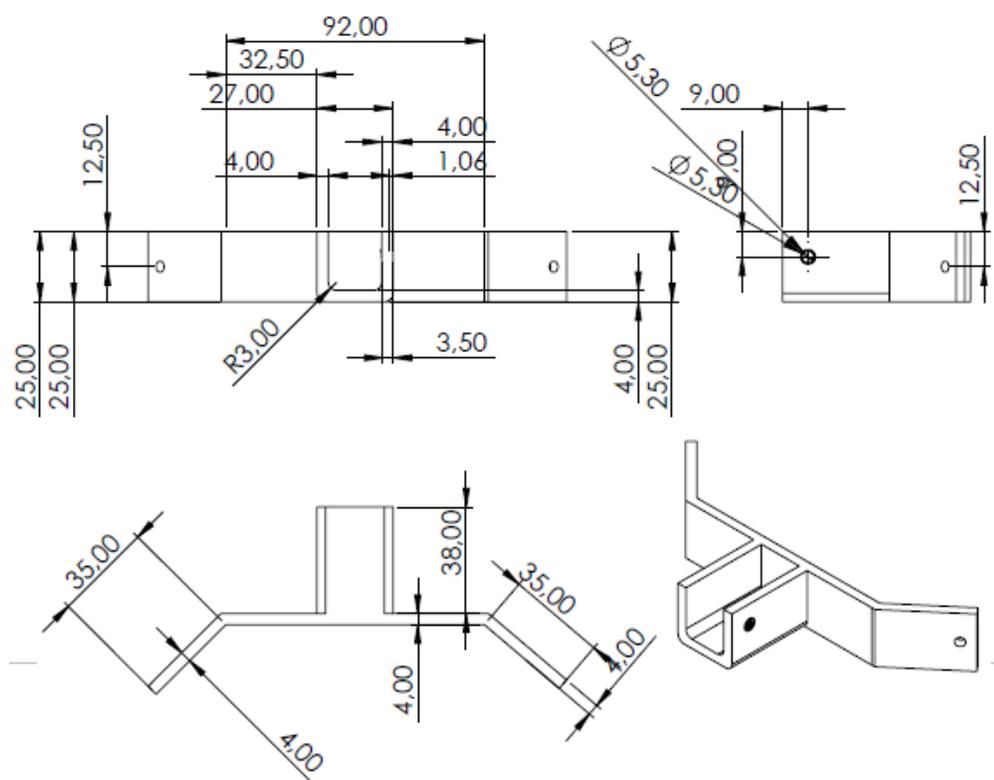
Nota. En la figura se detalla las dimensiones del armazón que contendrá el circuito del sensor sujetas en el neumático.

Dimensionamiento de la base del circuito de control

En el dimensionamiento de la base del circuito de control se debe llevar un enfoque centrado que nos permite estructurar donde se adjuntara la conexión entre el aire presurizado y el neumático, ya que es un elemento del sistema que se encontrará expuesto externamente a una zona visible dentro del aro del neumático del vehículo, además esta debe estar al alcance del usuario y debe adaptarse al diseño exterior, para que éste dé un toque estético y se pueda ajustar a la geometría del vehículo, tal como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Dimensionamiento de la base del sistema neumático



Nota. En la figura se detalla las dimensiones de la base que sujetará las conexiones de aire hacia el neumático.

Geometría del armazón del circuito de monitoreo

Partiendo del dimensionamiento del mismo, la geometría debe estar centrada en un punto de apoyo donde se va alojar el armazón tomando en cuenta que el neumático está en constante movimiento. La sujeción debe ser la mejor en un punto de apoyo el cual ayude a contrarrestar la fuerza del viento, por tal manera en un 60% el depósito irá dentro del aro, por lo que es de gran ayuda su cuerpo radial cubriendo a la resistencia de este fluido.

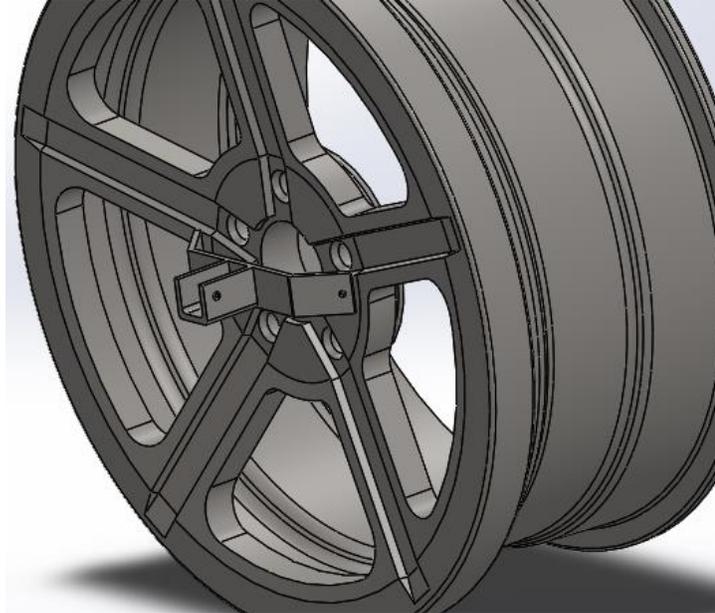
Geometría de la base del circuito de control

De igual manera en la parte de la geometría debe estar centrada principalmente en el aro del neumático ya que este componente se encuentra visible. Esta base debe ajustarse a la geometría externa del vehículo, además de los colores y espacio disponible, para que esta pueda pasar desapercibida y cree una apariencia de ser un componente propio que vino incluido en el vehículo, para que no altere ni incomode a los ocupantes del automotor.

Tomando en cuenta estas consideraciones, se realizó un diseño en un software de elementos finitos en el cual se adoptaron los parámetros y la estética de la base para que se adaptara perfectamente al lugar donde va a ir ubicado, además de considerar un color que combine con los acabados exteriores del vehículo. En la figura 19, se puede observar el diseño final de la base del sistema con referencia a todas las necesidades requeridas.

Figura 19

Geometría de la base del circuito de control



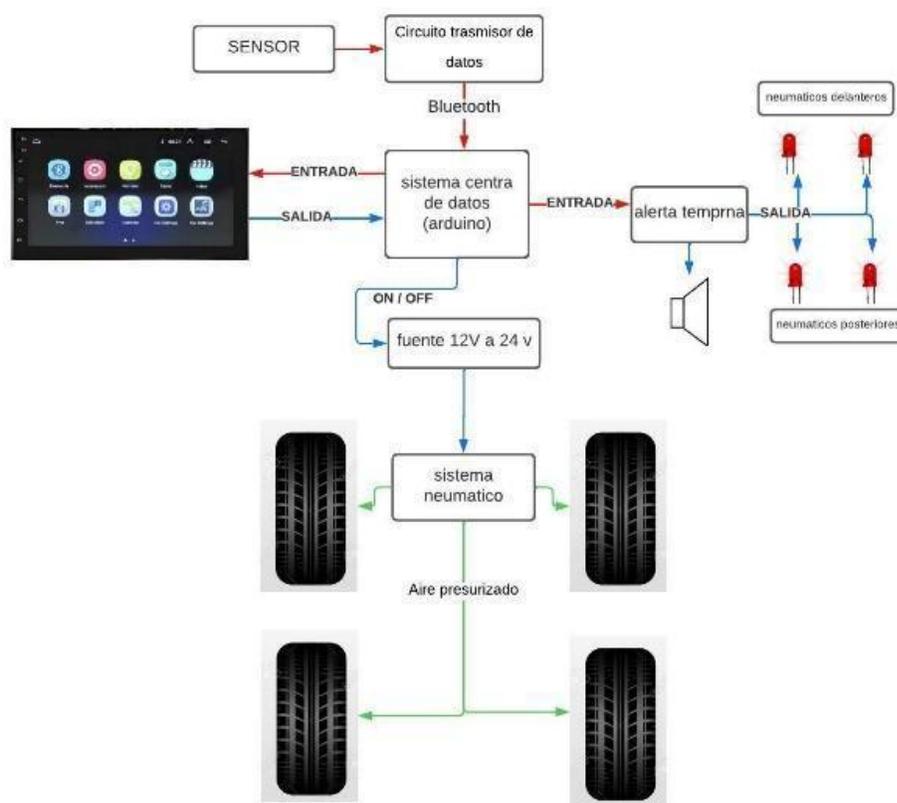
Nota. En la figura se muestra la base acoplada al rin del vehículo.

Diseño final

Una vez seleccionada la mejor alternativa que será adecuada para satisfacer todas las necesidades que se tienen en el sistema y complementadas con las ideas de las otras dos alternativas que fueron descartadas, para fortalecer puntos débiles que se tenían con la propuesta original. Además, el diseño final de cada componente del sistema se muestra en la Figura 20, detallando la idea general de cómo será construido dicho sistema.

Figura 20

Diseño final del sistema

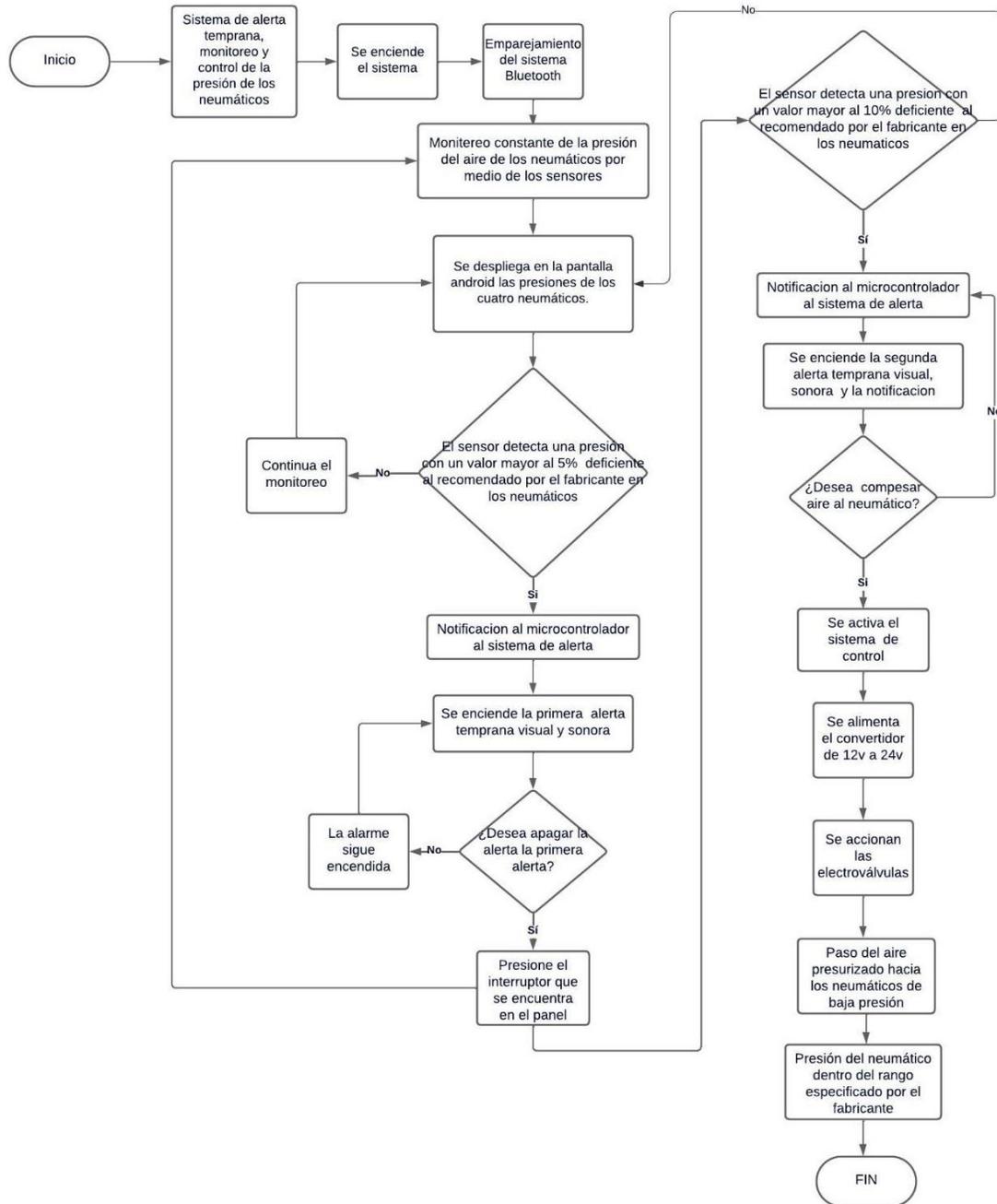


Nota. En la figura se observa el diseño final del sistema de acuerdo a criterio de los autores.

Mediante un diagrama de flujo realizado se procede a mencionar que nos permite representar gráficamente y visualizar la secuencia o los pasos estructurados necesarios para el desarrollo del proyecto. Este diagrama a través de una serie de íconos o imágenes con significados específicos, describe los pasos a seguir y el proceso de principio a fin mostrado en la figura 21.

Figura 21

Diagrama de Flujo



Nota. En la figura se visualiza un diagrama de flujo que muestra el diseño y la funcionalidad del sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire en los neumáticos.

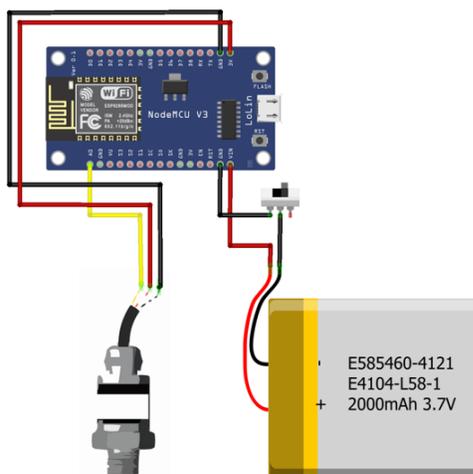
Diseño del Sistema de monitoreo

Diseño electrónico del sistema de monitoreo

Para realizar proyectos automáticos es necesario estar familiarizado con el manejo de componentes eléctricos y electrónicos. Para ello, utiliza sus conocimientos de eléctrica en el diseño del proyecto; con él subsistema de control, se tiende a usar habilidades informáticas usando una computadora hasta que esté completo e incluso probando. Si las pruebas que se realiza muestran que el diseño necesita más trabajo, se procederá a realizar una indagación general del trabajo hasta que sea perfecto, en la figura 22 se muestra un diagrama eléctrico de la realización del sistema de control.

Figura 22

Diagrama eléctrico del sistema de monitoreo



Nota. En la figura se muestra la conexión para el monitoreo de presión de un neumático.

El sistema de monitoreo comienza cuando accionamos el interruptor de encendido, de esta manera la batería energiza a todo el circuito, inmediatamente el sensor detecta la variación de presión en el neumático, comenzando con la lectura de datos de voltaje de señal emitida hacia el microcontrolador y mediante el protocolo de comunicación esp-now llegan los

datos al sistema de alerta para esta realización del sistema se utiliza componentes electrónicos que se menciona a continuación en la tabla 3.

Tabla 3

Componentes del circuito de monitoreo de presión

Distribución de componentes	
1	ESP8266
2	Sensor de presión
3	Interruptor
4	Batería Lipo 2000Ah – 3.7 V

Nota. En la tabla se muestran los componentes utilizados para el circuito de monitoreo de presión.

El diagrama de la figura 22 representa el accionamiento del circuito de monitoreo de presión que inicia su funcionamiento cuando ingresa 7.3 V por el puerto V in mediante el conductor rojo más el cable a masa interferida con el interruptor, para el funcionamiento del sensor el voltaje de referencia se emite por cable rojo por el puerto de salida de 3 V más el cable negro a tierra, mientras el voltaje de señal del sensor ingresa por el puerto A0 mediante el cable amarillo que está dentro del rango 0.5 V a 5 V.

Programación del sensor de presión HK1100C

El Sensor HK1100C trabaja de manera análoga que varía en el intervalo de 0.5 a 4.5 voltios. Dicha salida análoga es compatible con las entradas (ADC) de Arduino, Los datos de medición, (recogidos a través del pin A0) en bits:

- `int sensorVal=analogRead(A0);`

Conversión de volts por regla de 3, sabiendo que el voltaje de trabajo es 5 V:

- `float voltage=(sensorVal*5.0)/1024.0;`

Para la conversión a psi partiremos desde la fórmula de la ecuación básica lineal expresada de esta manera.

- `pressure_psi=voltage*m+b;`

Para completar la ecuación encontramos las incógnitas m y b, tomando varios datos mediante experimentación:

$$m = \frac{p_f - p_i}{v_f - v_i} = \frac{29 - 18}{1.22 - 0.96} = 42.308$$

$$b = p_f - \frac{p_f - p_i}{v_f - v_i} * v_f = 29 - \frac{29 - 18}{1.22 - 0.96} * 1.22$$

$$b = -22.615$$

Ecuación 5

La ecuación resultante

- `pressure_psi = voltage*(42.308)-22.615;`

Selección de componentes del sistema de monitoreo

Microcontrolador

Un microprocesador es un circuito integrado que contiene una unidad central de procesamiento (CPU), también conocida como procesador de computadora, los parámetros a tomar en cuenta para la selección son: peso, frecuencia, conectividad, consumo eléctrico, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Selección de microcontrolador para el monitoreo de presión

Tipo	Peso (g)	Frecuencia (M Hz)	Conectividad	Consumo eléctrico(mA)
ESP-8266	9	80	Wifi-Bluetooth	175
ESP-32	12	240	Wifi-Bluetooth	100
Arduino Nano	10	80	-	150

Nota. En la tabla se interpretan los parámetros técnicos de diferentes microcontroladores.

Se selecciona el microcontrolador ESP8266 con conexión Wifi y Bluetooth, con un consumo de 100 miliamperios hora, siendo el de menor consumo para las baterías. Cabe recalcar que su frecuencia de 80 MHz es buena, pero gracias a la conectividad Wifi es la que permite el envío de datos instantáneos además sin interferencia por la rotación de los neumáticos, tal como la figura 23.

Figura 23

Microcontrolador ESP8266



Nota. En la figura se muestra el microcontrolador seleccionado para el sistema de monitoreo.

Tomado de (Morales, 2022)

Sensor de presión neumático

El sensor de presión neumático debe cumplir con parámetros específicos para el óptimo desempeño en la lectura de datos. Dichos requerimientos, que se muestran en la tabla 5, corresponden a: consumo de energía, lectura máxima de presión, tiempo de respuesta y peso.

Tabla 5

Selección del sensor para el monitoreo de la presión de los neumáticos

Sensor	Peso (g)	Lectura máxima (PSI)	Tiempo de respuesta (ms)	Consumo eléctrico(mA)
HK1100C	22	175	< 2	15
MPX5500D	8	72	< 2	9
MPX2050	10	8	< 2	6

Nota. En la tabla se interpretan los parámetros técnicos de diferentes sensores de presión.

Se selecciona el sensor HK1100C ya que posee una lectura máxima de 175 PSI teniendo en cuenta que posee una rosca M15X1.5 el cual facilita para la instalación en los aros del vehículo. Su trabajo de operación es de 0 a 85 (°C). Además su estructura es de acero, el cual será resistente para daños externos, tal como se muestra en la figura 24.

Figura 24

Sensor HK1100C



Nota. En la figura se visualiza el sensor de presión seleccionado. Tomado de (Hubot, 2023)

Fuente de alimentación

En la selección de la fuente de alimentación para un circuito electrónico, se toma en cuenta que se debe cumplir con los parámetros específicos como son: dimensión, voltaje, amperios hora, tal como se especifica en la tabla 6.

Tabla 6

Selección de la fuente de energía

Tipo	Dimensiones (mm)	Voltios (V)	Amperios Hora (mAh)
Fuente tipo lipo	20x50x20	7.4	1100
Fuente tipo lipo	15x40x15	7.1	1000
Fuente de óxido de mercurio	12x70x12	5.7	750

Nota: En la tabla se interpretan los parámetros técnicos de diferentes fuentes para la alimentación del sistema de monitoreo.

Se selecciona la batería tipo Li-Po de 7.4 V, que están constituidas por tres celdas de polímero de litio que conjuntamente tienen una capacidad de 1100 miliamperios hora. Tienen la capacidad de un corto tiempo de recarga de 20 minutos, siendo una ayuda para un prolongado

funcionamiento para el sistema de monitoreo de presión de los neumáticos, tal como se muestra en figura 25.

Figura 25

Batería Li-Po de 7.4V



Nota: En la figura se visualiza la fuente para el sistema de monitoreo seleccionada. Tomado de
(Megatronica, 2023)

Diseño del Sistema de alerta temprana

El sistema de alerta de la presión de los neumáticos está compuesto por un microcontrolador central, un dispositivo de sonido Buzzer, iluminación led de alerta, un interruptor para el control de compensación de aire y una fuente de 5V DC para alimentar a todo el sistema central, que proviene del transformador del mismo automóvil. Mediante estos componentes más la programación Arduino. Constantemente el sistema estará dando alerta y control para la presión de los neumáticos.

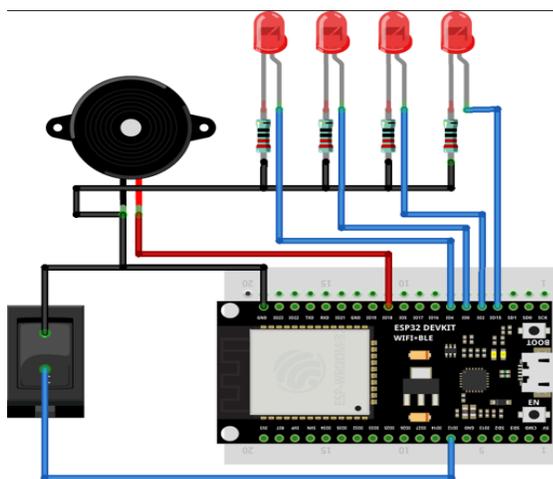
Diseño electrónico del sistema de alerta temprana

El sistema de alerta entra en función en el momento que comienza a recibir los datos del sistema de monitoreo, los cuales se procesan y se refleja la presión de los cuatro sensores en la pantalla Android. En el momento que exista un neumático con mayor del 5% de deficiencia de la presión recomendada por el fabricante, inmediatamente el sistema de alerta entrará en funcionamiento alertando de manera sonora y visual al piloto. La manera para

desactivar esta alerta, es mediante el interruptor de control que se encuentra en el tablero del mismo sistema, como se puede observar en la figura 26.

Figura 26

Diagrama del sistema de alerta temprana



Nota. En la figura se muestra la conexión para el sistema de alerta temprana.

El sistema de alerta temprana si se diseña de la manera más adecuada y correcta puede llegar a salvar vidas. Una estructuración de componentes electrónicos y eléctricos bien organizados da como resultado un sistema efectivo y eficiente. Dichos componentes se mencionan en la tabla 7, y utilizados para el diseño del sistema de alerta temprana.

Tabla 7

Componentes del sistema de alerta temprana

Distribución de componentes	
1	ESP32
2	Buzzer
3	Interruptor
4	Led

Nota. En la tabla se muestran los componentes empleados en el sistema de alerta temprana.

En el fundamento del accionamiento del sistema de alerta ESP32, se comunican entre sí de forma inalámbrica por la frecuencia 2.4GHz, usando su propio protocolo de comunicación llamado ESP-NOW. La ESP32 que recibe los datos trabaja en modo esclavo, mientras las demás ESP8266 trabajan en modo maestro. Cada ESP maestro tiene un ID con el cual la ESP32 esclavo puede diferenciarlas para ordenar cada dato y así saber qué número de neumático envía las diferentes presiones leídas por los sensores.

Aplicación Android para el sistema de alerta y monitoreo

La base para el desarrollo de una aplicación Android, fue seleccionada dado que en la actualidad todo vehículo viene equipado con una pantalla inteligente. Además, por tendencia de estética estas pantallas son instaladas por los propietarios por un bajo costo en la mayoría de los vehículos. Tan solo con el hecho de instalarse en el dispositivo, este se conectará mediante Bluetooth con el sistema alerta y monitoreo tal como se muestra en la figura 27.

Figura 27

Interfaz de la aplicación Android



Nota. En la figura se muestra la aplicación Android que se proyecta en la pantalla para el monitoreo de presión.

La aplicación Android “TPMS System” fue creada en el software “MIT App Inventor”, el cual establece una conexión con la ESP32. Se envían los datos a la app mediante bluetooth, usando comunicación serial, es decir, envía todos los datos en una sola línea cada corto tiempo. La app está hecha para diferenciar cada uno de los sensores por medio de un slash "/" y así ubicar la presión de cada uno de los neumáticos donde corresponda.

Selección de componentes del sistema de alerta

Microcontrolador central

Los parámetros a tomar en cuenta para la selección, están orientados a: frecuencia, conectividad, número de puertos y temperatura de operación, como se muestra en la figura 8.

Tabla 8

Selección del microcontrolador para el sistema de alerta

Tipo	Frecuencia (M Hz)	Conectividad	N. de puertos	Temperatura de operación
ESP-8266	80	Wifi-Bluetooth	30	-40°C - 85 °C
ESP-32	240	Wifi-Bluetooth	38	-40°C - 85 °C
Arduino	240	Bluetooth	21	-40°C - 80 °C

Nota. En la tabla se interpretan los parámetros técnicos de diferentes microcontroladores.

Se selecciona el microcontrolador ESP32 de doble conexión, cabe recalcar que su frecuencia de 240 MHz es buena, pero gracias a la conectividad Wifi es la que permite receptor los datos emitidas por la ESP8266. De esta manera mediante Bluetooth se reflejarán en la aplicación Android, tal como se ilustra en la figura 28.

Figura 28

Microcontrolador ESP32



Nota. En la figura se muestra el microcontrolador seleccionado para el sistema de alerta.

Tomado de (Components101, 2023)

Diseño del Sistema de control

Para el sistema de control se implementó una pantalla y un sistema neumático. Por medio de la pantalla se visualiza el monitoreo constante de la presión de los neumáticos donde si existe alguna variación de presión por debajo del rango de trabajo del neumático, mediante la pantalla y la programación establecida, se procede a dar un control al conductor o usuario. En el caso que se deseara compensar la pérdida de presión, y de ser aceptada la opción “si”, se procede a compensar la presión de aire en la rueda. Para el efecto, se activa el sistema neumático para proceder a cargarlo hasta llegar a la presión establecida por el fabricante.

El sistema neumático de compensación de aire consta de un compresor, mangueras neumáticas, conectores, válvulas de retención, válvulas rotativas, manómetro analógico y un depósito de aire comprimido. A partir de estos componentes se aumenta la presión del aire reduciendo el volumen; el aire comprimido fluye a través del circuito de líneas neumáticas y es controlado por válvulas. La presión la establece el conductor y es controlada por manómetros

analógicos en ambos ejes del vehículo. Todos los componentes mencionados anteriormente se los puede enlistar en la tabla 9.

Tabla 9

Componentes de la simulación de circuito neumático

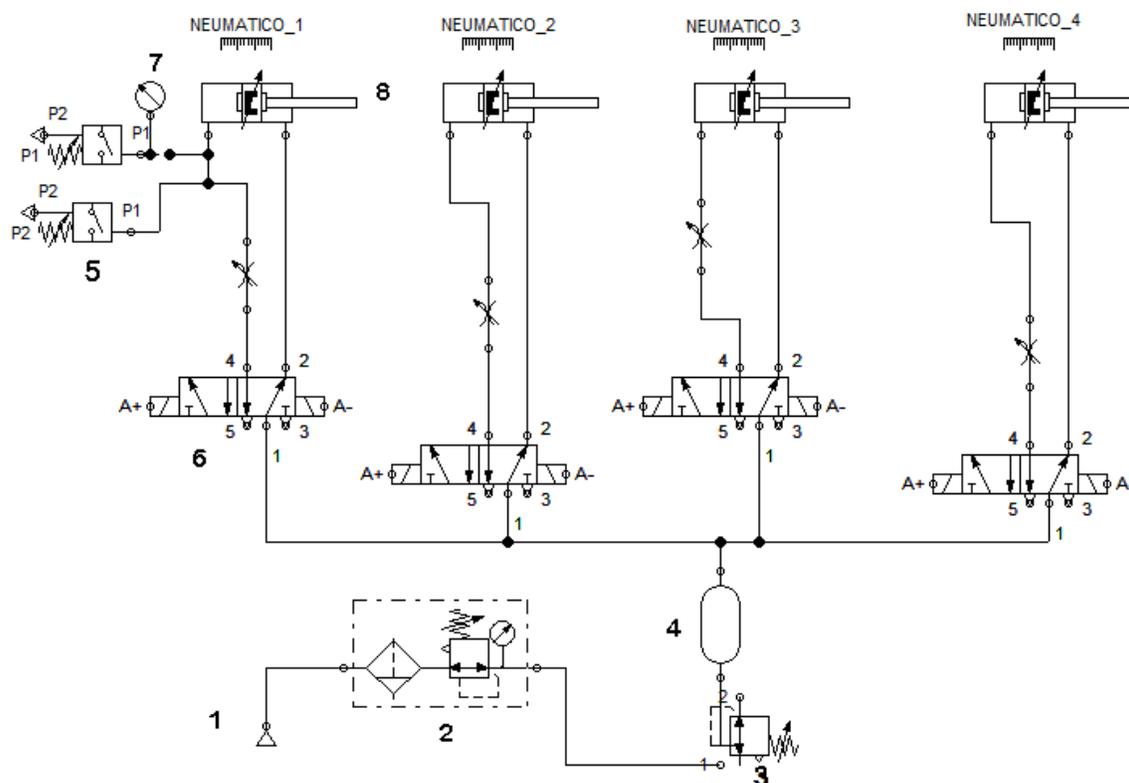
Clasificación de componentes	
1	Fuente de aire presurizado
4	Electroválvulas 2/2 CN
1	Manómetro
1	Depósito
1	Fuente de energía 12 V y 24 V
4	Neumáticos
1	presostato

Nota. La tabla muestra los componentes utilizados en el circuito neumático.

Se realizó la simulación en un programa asistido por computador, donde se interpreta los componentes utilizados en la implementación del sistema de auto inflado de neumáticos. El circuito neumático inicia desde el compresor, el aire comprimido ingresa hacia el depósito, luego pasa por la unidad de mantenimiento al presostato, que interrumpe la entrada y salida de aire comprimido hacia las cañerías del circuito principal. La presión de salida se modifica mediante el regulador de presión e ingresa al panel de control, donde se distribuye para los neumáticos del eje delantero y posterior, tal como se ilustra en la figura 29 y 30.

Figura 29

Diagrama de simulación de circuito neumático

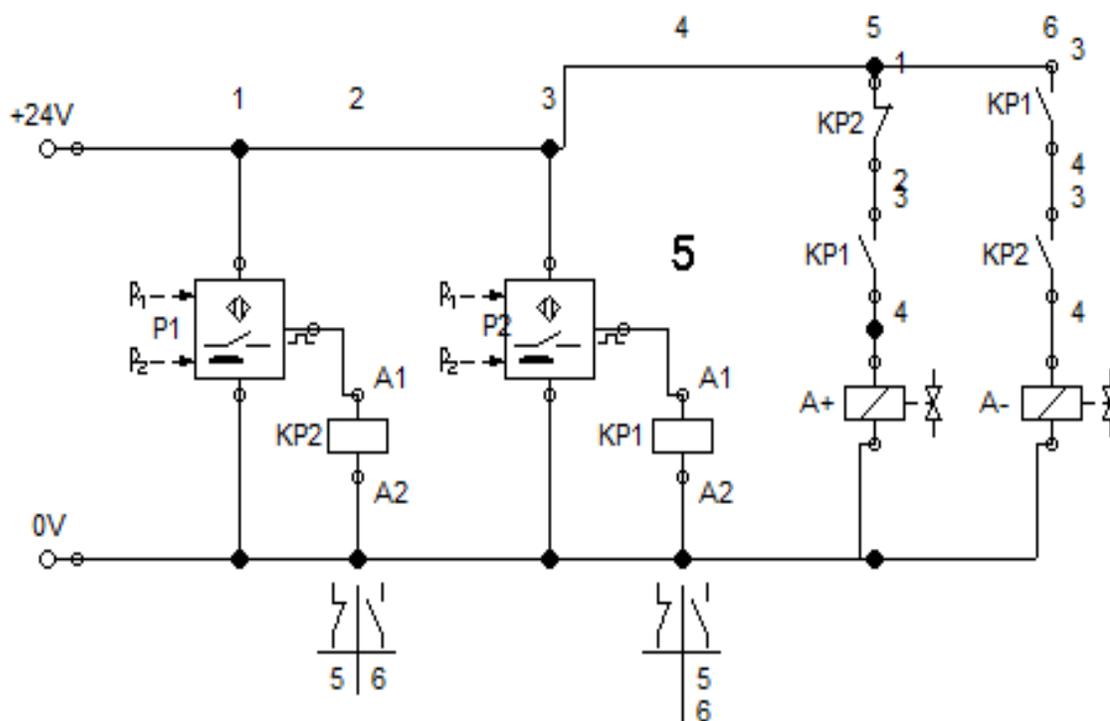


Nota. En la figura se muestra la simulación del circuito neumático con sus componentes.

El sistema comienza a operar encendiendo la fuente de aire a presión (1), la cual puede alcanzar una presión de 150 *Psi*, luego cuya presión es regulada por el regulador. Se ajusta a 50 *Psi* (2), luego ingresa al presostato (3), cuando el presostato (3) llega a 50 *Psi*, se interrumpe el flujo de aire. Con la activación del interruptor de presión de aire (5), la presión de salida se acumula en los neumáticos (8). La presión de los neumáticos (8) está indicada por el manómetro (7) y no debe exceder los 26 *Psi*, la válvula check que se encuentra en la salida de aire del depósito (4) evita el reflujo de aire al sistema.

Figura 30

Diagrama del circuito eléctrico de la parte neumática



Nota. En la figura se muestra el sistema eléctrico de la fuente de 24 V para la activación de electroválvulas y el interruptor de presión de aire.

Caudal y presión del sistema de control

La relación que existe entre el caudal y presión es importante ya que si estas dos son de mayor magnitud será motivo de proporcionalidad, provocando en sistemas neumáticos la compensación en el menor tiempo posible, Es decir, cuando la presión aumenta, mayor será el flujo en el sistema; pero esto no siempre sucede, para poder determinar estos parámetros existen definiciones científicas que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10*Parámetros*

Parámetro	Valor	Unidad
presión de entrada del compresor	$P_1 = 150$	<i>PSI</i>
presión de salida hacia los neumáticos	$P_2 = 48$	<i>PSI</i>
Dímetro de cañería de alimentación neumática	$D_1 = 0.2$	<i>m</i>
Diámetro interno de la cañería de alimentación	$D_2 = 0.05$	<i>m</i>
Peso específico del aire	$\gamma = 1.29$	$\frac{kgf}{m^3}$
Caudal	$Q = \sqrt{\frac{(P_2 - P_1)\pi}{8\gamma \left(\frac{1}{D_1^4} - \frac{1}{D_2^4}\right)}}$	$\frac{m^3}{s}$
Caudal	$Q = 37$	<i>m</i>
Ancho del neumático	$A_n = 16.5$	<i>m</i>
Límite superior	$b = 7$	<i>m</i>
límite inferior	$a = 7$	<i>m</i>
Diámetro exterior del neumático	$R = 73.5$	<i>m</i>
Diámetro interno del neumático	$r = 40.6$	<i>m</i>

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	$V = \pi \int_a^b (R^2 - r^2) dx$	m^3
Tiempo	$T = \frac{V}{Q} = 54.73$	s

Nota. En la tabla se visualiza la interpretación de los valores y ecuaciones para el cálculo de volumen, tiempo y caudal.

Selección de componentes del sistema neumático

El presente trabajo, en el apartado del sistema neumático se utilizará varios componentes mecánicos, neumáticos y eléctricos para ayudar en la parte de control donde se auto compensará el aire a los neumáticos por deficiencia de presión, y estos componentes se describirán a continuación.

Electroválvula

En la selección de una electroválvula óptima para el proyecto se requiere parámetros específicos como: presión, material, diámetro interior, y voltaje, mostrados en la tabla 11.

Tabla 11

Electroválvulas

Tipo	Presión máxima	Tamaño de la conexión	Función	voltaje
Electroválvula CM-DA	0-10 bar	1/4 de pulgada	Normalmente cerrado	24 CD

Tipo	Presión máxima	Tamaño de la conexión	Función	voltaje
Electroválvula CM-DA	0-13 bar	1/4 de pulgada	Normalmente cerrado	230V AC
Electroválvula CM-DA	0-13 bar	1/4 de pulgada	Normalmente cerrado	120V AC

Nota. En la tabla se observan características técnicas de las diferentes electroválvulas.

Se seleccionó la electroválvula con una resistencia de presión de 0 a 10 bar que es suficiente para la presión del sistema neumático, un tamaño de conexión de ¼ de pulgada y un voltaje de 24 V el cual requerimos para la energía que disponemos en los vehículos, tal como se ilustra en la figura 31.

Figura 31

Electroválvula CM-DA



Nota. En la figura se muestra la Electroválvula CM-DA que se utilizará en la construcción del sistema neumático. Tomado de (Tamesos, 2023)

Interruptor de presión

Dentro del sistema neumático se requiere de un interruptor que cierre y abra el paso de aire al sistema y dentro de esta selección se requiere parámetros específicos como: presión, material, diámetro interior, y voltaje, tal como se especifica en la tabla 12.

Tabla 12

Interruptor de presión

Tipo	Presión máxima	Tamaño de la conexión	Material	Voltaje
Interruptor de presión	1 a 10 bar	1/4 de pulgada	acero	42 VAC
Interruptor de presión	1 a 10 bar	1/8 de pulgada	latón	250 VAC
Interruptor de presión SPDT C	3 a 2 bar	1/4 de pulgada	acero	24 VDC

Nota. En la tabla se observan características técnicas de los diferentes interruptores de presión.

Se ilustra en la figura 32, la selección del interruptor de presión con una resistencia de presión de 3 a 2 bar, de 1/4 de pulgada que son parámetros compatibles con la presión de aire del sistema neumático. Estos componentes trabajan a un voltaje de 24 V el cual se requiere para la energía que se dispone en los vehículos.

Figura 32*Interruptor de presión SPDT C*

Nota. En la figura se muestra el interruptor de presión SPDT C que se utilizará en la construcción del sistema neumático. Tomado de (Tamesos, 2023)

Reguladores de presión

En la tabla 13, se especifica la selección para la regulación de caudal del sistema neumático y dentro de la selección de este componente se requiere parámetros específicos.

Tabla 13*Reguladores de presión*

Tipo	Presión máxima	Tamaño de la conexión	Tipo de conexión	Material
Silenciador de control de flujo Recto	-14 a 290 psi		Push-in	latón
Válvula reguladora de caudal	-14 a 290 psi	1/4 de pulgada	Hilo exterior cónico BSPT-R, Push-in	acero

Nota. En la tabla se observan características técnicas de los diferentes reguladores de presión.

Se ilustra en la figura 33, la selección el regulador de presión de -14 a 290 bar de ¼ de pulgada que son parámetros compatibles con la presión de aire del sistema neumático. Estos componentes son de un material de acero con conexión enroscable, facilitando la conexión del sistema neumático sea más rápido y compacto.

Figura 33

Válvula reguladora de caudal



Nota. En la figura se muestra la válvula reguladora de caudal que se utilizará en la construcción del sistema neumático. Tomado de (Tamesos, 2023)

Racores A Presión Con 2 o más Conexiones

La línea de accesorios de racor a presión de 2 o más puertos está disponible en latón y plástico. Los accesorios enchufables son fáciles de montar y desmontar, lo que ahorra tiempo, dinero y garantiza un sellado hermético. Los racores de 2 puertos se utilizan para unir dos mangueras o para conectar un conducto de aire a un tubo o elemento roscado (macho o hembra) en el otro puerto. Si tiene una conexión roscada, ya se tiene un inserto de bloqueo pre aplicado. Hay diferentes estilos disponibles: recto, en ángulo o adaptado a diferentes diámetros

en cada puerto (desigual). Se asegura de seleccionar la clasificación de presión y el tipo de conexión correctos para su sistema, tal como se especifica en la tabla 14.

Tabla 14

Componentes racor

Tipo	Presión máxima	Tamaño de la conexión	característica	Material
Racor recto	-14 a 145 psi	1/4 de pulgada	0 a 60°C	PBT
Racor de codo	-14 a 145 psi	1/4 de pulgada	0 a 60°C	PBT
Unión giratoria rápida	-14 a 145 psi	1/4 de pulgada	1200rpm	Latón niquelado
Racor a presión de rosca macho rectos	-14 a 145 psi	1/4 de pulgada	Hilo exterior cónico BSPT-R	Brass
Accesorios de unión en T	2176 psi	1/4 de pulgada	-60°C a 300°C	Latón
Racor en T	-14 a 145 psi	1/4 de pulgada	Ajuste al vacío	PBT
Conector inflado de neumático	145 psi	1/4 de pulgada		latón

Nota. En la tabla se observan características técnicas de los diferentes acoples que se utilizará en el sistema neumático a elaborar.

Se seleccionó cada componente de acuerdo a las medidas que va a trabajar en general con los demás componentes de 1/4 de pulgada con materiales resistentes y duraderos a cualquier sobrepresión existente.

Manguera de presión neumática

Un componente esencial dentro del sistema neumático son las líneas que transportan el aire dentro del sistema. Para ello se opta por una manguera neumática con requerimiento de parámetros específicos, ilustrados en la tabla 15, como presión máxima, temperatura y material.

Tabla 15

Mangueras neumáticas

Tipo	Presión máxima	Temperatura	Material
Manguera Neumática Natural	24 bar	90°C	poliamida
Manguera neumática Negro	10 bar	60°C	poliuretano
Manguera neumática Rojo	19 bares	100°C	poliamida

Nota. En la tabla se observan características técnicas de las diferentes mangueras neumáticas

Se ilustra en la figura 34 la selección de la manguera neumática natural hechas de un material de poliamida resistente a la abrasión del ambiente o agentes climáticos externos. Este

elemento dispone de una capacidad de presión de 24 bares, suficientes para la presión de aire del sistema neumático.

Figura 34

Manguera Neumática Natural



Nota. En la figura se muestra la Manguera Neumática Natural que se utilizará en la construcción del sistema neumático. Tomado de (Tamesos, 2023)

Depósito de aire

Tomado en cuenta el requerimiento de un depósito de aire comprimido de fácil acceso con certificaciones y normas, se opta por un depósito de extintor de incendios mostrado en la figura 35, donde este depósito es registrado por el DOT de 9 kg. El material es aleación de aluminio, apto para clase B, y revestimiento exterior de poliéster en polvo (rojo, pulido). Todos los extintores de incendios son probados contra fugas. Tomando estos parámetros ya previos, es factible utilizar este elemento como depósito de aire comprimido el cual es compacto y de fácil accesibilidad en el mercado.

Figura 35

Depósito de aire



Nota. En la figura de muestra el depósito destinado para la acumulación de aire comprimido del sistema neumático. Tomado de (Grupopofuego, 2022)

Compresor

Un elemento de generación de aire presurizado es esencial en el sistema neumático y en su selección se requiere parámetros específicos como: capacidad, accesibilidad, tamaño, voltaje, tal como se especifica en la tabla 16.

Tabla 16

Características del compresor

Tipo	Presión máxima	Accesibilidad	Voltaje
Compresor para suspensión neumática	200 psi	Mercado extranjero	12 V
compresor portátil	250 psi	Ecuador	12 V
Compresor para aerógrafo	250 psi	Ecuador	110 V

Nota. En la tabla se observan características factibles de disponibilidad y necesidad para elegir el mejor componente de generación de aire comprimido para el sistema de compensación de aire.

Se selecciona el compresor con más accesibilidad y características compatibles para un automóvil, optando por un compresor portátil que genera una presión de 150 psi. Este elemento es accesible dentro del país y es compatible con la carga energética del vehículo de 12 V, tal como se ilustra en la figura 36.

Figura 36

Compresor portátil



Nota. En la figura se muestra compresor portátil la cual genera una presión de 150 psi y tiene una alimentación de 12 V. Tomado de (Tamesos, 2023)

Capítulo IV

Construcción y validación del sistema implementado

En este capítulo se detalla los procesos de adaptación de los componentes, implementación de sistema de monitoreo, sistema de alerta, sistema de control, verificación de funcionamiento y operación del diseño construido.

La construcción del sistema de alerta temprana, monitoreo y control se fundamenta de los componentes seleccionados en el capítulo 3, los cuales son llevados al proceso de ensamble con la finalidad de estar en un constante monitoreo de la presión de los neumáticos, dar alerta si uno de ellos está deficiente de presión y compensar a los mismos cuando estén bajo los parámetros establecidos.

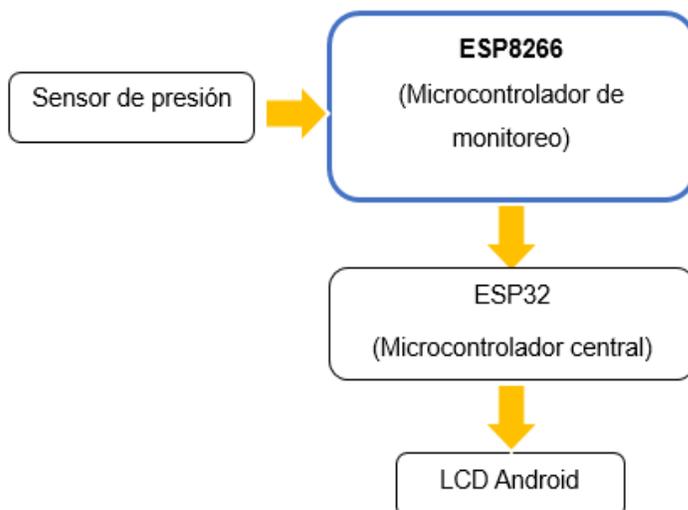
Construcción del sistema de monitoreo

La construcción del sistema de monitoreo se compone en dos partes: una es la instalación del sensor de presión el cual debe ser instalado de una manera hermética, siendo una de las partes más importantes del sistema ya que si por esta inserción que se realiza al aro comienza a tener problemas de fugas de aire en el sistema propuesto es inválido.

La segunda parte es el microcontrolador que está protegido por una carcasa ermitica que protege de daños provenientes de agentes externo y anclada al aro del vehículo. Con la operación de estos dos componentes se podrá emitir la presión hacia los neumáticos. El sistema de monitoreo se resume en el esquema de la Figura 37.

Figura 37

Sistema de monitoreo



Nota. En la figura se muestra el esquema del funcionamiento del sistema de monitoreo.

Adaptación del sensor de presión

Para poder adaptar el sensor de la lectura e presión dentro del neumático se debe realizar en la base del aro una inserción la cual consiste en realizar una perforación en el punto de mayor espesor del aro. Esto con el fin de pasar el machuelo M14 x 1.5 de paso, el cual corresponde al roscado del sensor de presión, tal como se ilustra en la figura 38.

Figura 38

Inserción de machuelo en el aro del vehículo



Nota. En la figura se observa el proceso de inserción de machuelo en el aro del vehículo.

Una vez que los aros de los neumáticos ya se encuentren con la perforación, más la rosca M14 x 1.5, se procede a instalar el sensor de presión, el cual para evitar escape del aire por dicha perforación se le adiciono componentes como teflón más un ring de nitrilo. Esto para brindar el apriete correspondiente de la rosca del sensor para prevenir que no exista fugas de aire dentro de la cámara del neumático hacia el exterior, tal como se ilustra en la figura 39.

Figura 39

Instalación del sensor de aire



Nota. En la imagen se visualiza el sensor de aire ya instalado en el aro del vehículo.

Conexión del circuito electrónico de alerta

Para poder armar el circuito electrónico es necesario de conductores específicos como microcontroladores ESP32, una fuente de energía que es la batería de Li-Po, cables electrónicos que tiene por un extremo punta macho y por el otro hembra.

De esta manera se puede realizar la conexión entre ellos y acoplarlo al sensor que brinda la señal de presión dentro de la cámara del neumático y será interpretada con el

microcontrolador, para posteriormente proceder con la activación del circuito y ser energizado se usa un interruptor, tal como se muestra en el esquema de la figura 40.

Figura 40

Ensamble del circuito electrónico de alerta



Nota. En la figura se muestra la conexión de circuito electrónico para el sensor de presión.

Conjunto TPMS

El circuito de monitoreo viene a resumirse en un TPMS industrial de los vehículos; el diseño que se desarrolla se basa en el circuito electrónico que va dentro del contenedor impreso en 3D, que es el aislante de la humedad y daños físicos. Todo el conjunto va fijamente asegurado con una sujeción de dos pernos M6 hacia el aro del vehículo, tal como se ilustra en la figura 41.

Figura 41

Adaptación del sistema de monitoreo

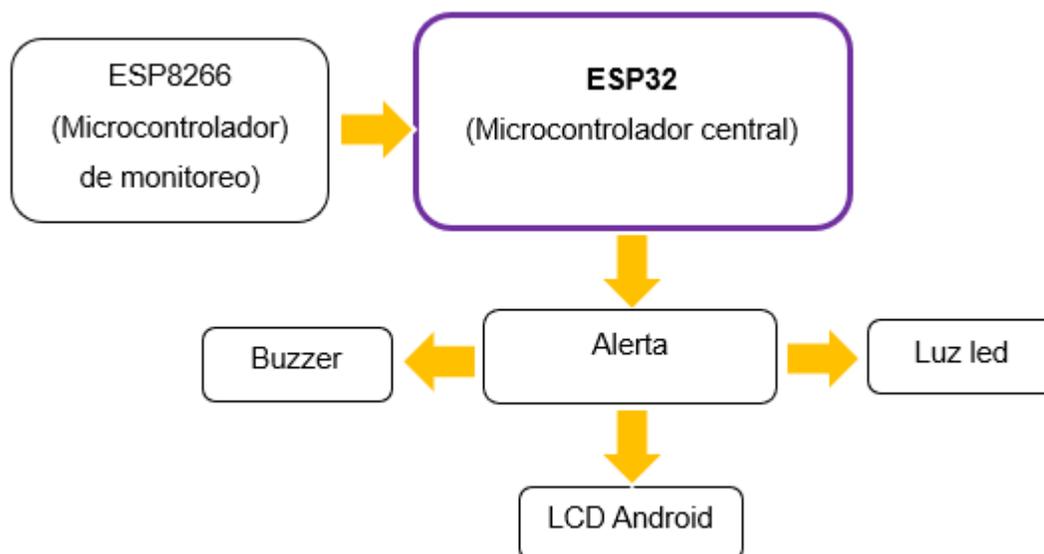


Nota. En la figura se muestra el proceso de sujeción del componente electrónico de monitoreo.

Construcción del sistema de alerta

Para la construcción del sistema de alerta se necesita de un componente central el cual va estar recibiendo los datos de los cuatro microcontroladores de monitoreo y estos datos inmediatamente se proyectan constantemente en la pantalla Android.

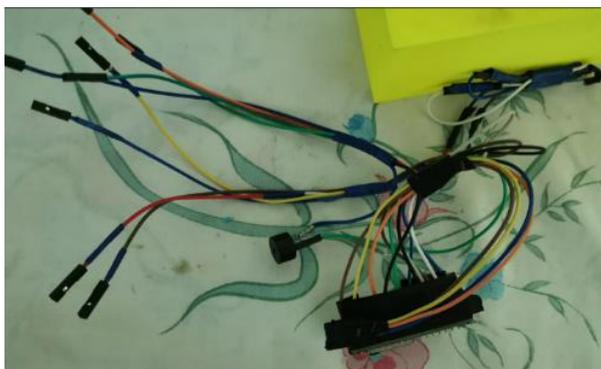
La otra función de este sistema es activar las alertas cuando se cumplan las condiciones de monitoreo establecidas. Para cumplir aquel objetivo se necesita implementar componentes eléctricos que van estar adyacentes al microcontrolador principal, como son cuatro luces led y un buzzer. El sistema de alerta se resume en el esquema de la Figura 42.

Figura 42*Sistema de alerta*

Nota. En la figura se muestra el esquema del funcionamiento del sistema de alerta.

Conexión del circuito electrónico de alerta

Para el sistema de alerta que contiene más componentes se necesita de la unión por soldadura de estaño, para unir los terminales de las resistencias de 220 ohmios, los leds de color rojo, un buzzer. Además, se necesita de cables electrónicos con terminales macho y hembra para poder conectar con el microcontrolador ESP32, tal como se ilustra en la figura 43.

Figura 43*Conexión del sistema de alerta*

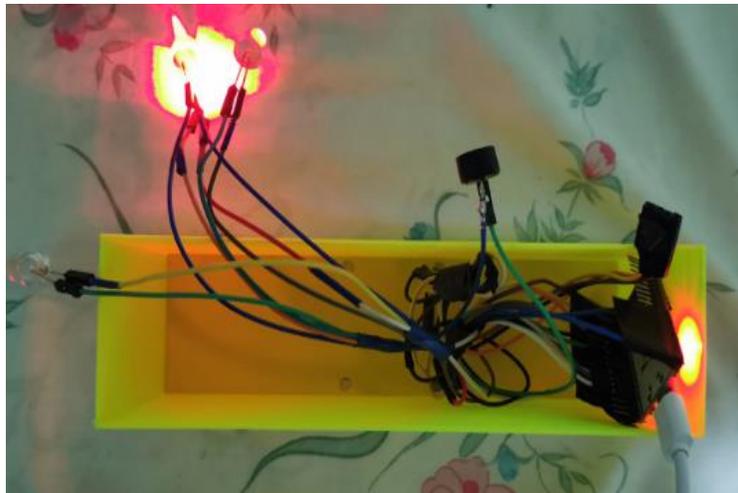
Nota. En la figura se muestra la conexión de circuito electrónico para el sistema de alerta.

Implementación del sistema de alerta en el tablero del vehículo

El sistema de alerta temprana se ubica en la parte central del vehículo, se aprovecha el espacio generado al desmontar una radio estéreo vehicular, que se lo ubica en otro lugar, donde se diseña un soporte de las mismas dimensiones, pero con las adecuaciones pertinentes que pueda albergar el sistema de alerta. Esto genera los espacios al led para que sean visible como se muestra en la figura 44. Además, que estén distribuidos de una manera específica para poder identificar que neumático se encuentra fuera de los rangos de presión de trabajo.

Figura 44

Adaptación del sistema de alerta



Nota. En la figura se observa cómo el sistema de alerta se instaló en la caja del tablero del vehículo.

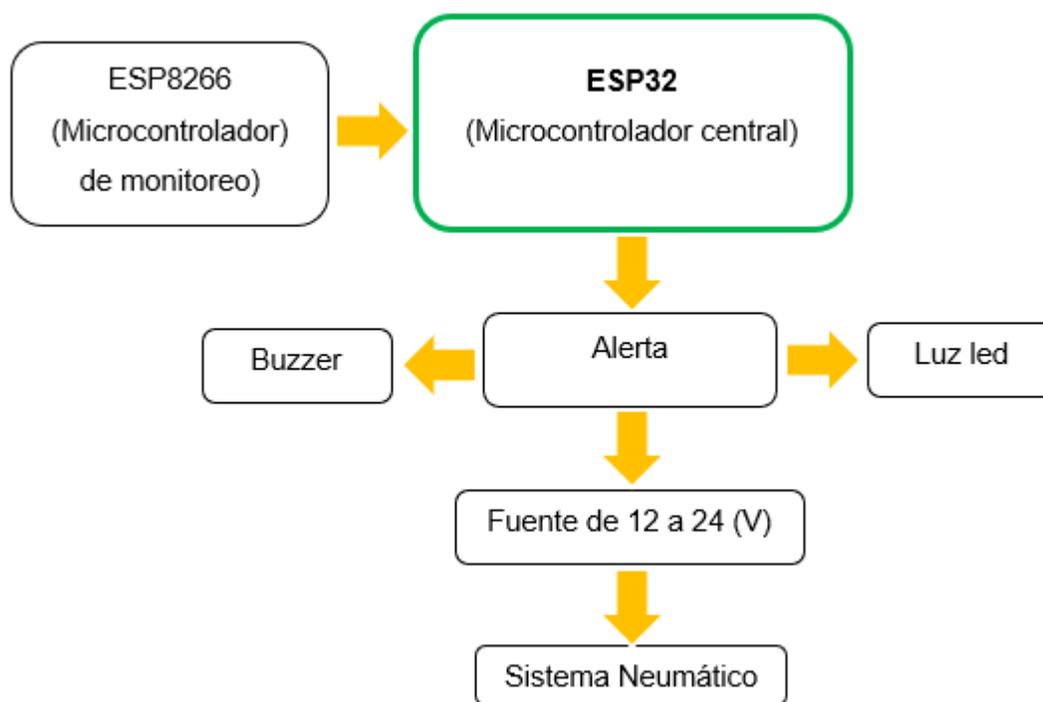
Construcción del Sistema de control

Un sistema de control es una recopilación de componentes relacionados para realizar una tarea específica y se encuentra comúnmente en el campo industrial o neumático. Dentro del proyecto a realizar simplemente se hace referencia a un dispositivo mecánico o serie de ellos que utiliza aire comprimido para realizar tareas específicas. Las herramientas de gas

pequeñas, autónomas y portátiles que pueden funcionar con cilindros de gas comprimido pueden contener nitrógeno libre de oxígeno. En aire comprimido industrial es habitual el uso de aire como medio gaseoso debido a que es completamente abundante y se libera fácilmente a la atmósfera cuando termina de funcionar. Este sistema ofrece menores costos de construcción, permitiendo el uso del aire como fuente de transmisión de energía. EL sistema de control se resume en esquema de la figura 43.

Figura 45

Sistema Neumático



Nota. En la figura se muestra el esquema del funcionamiento del sistema de control.

Conexión del Sistema de control

Para el sistema de control se realiza una conexión entre todos los sistemas, ya sea sensores que monitorean la presión los cual se refleja dicho valor en la pantalla Android como se muestra en la figura 46. Posteriormente, si existe una variación de presión menor al 10%

recomendada por el fabricante del neumático, existe una notificación en la pantalla mencionado al conductor si desea compensar la deficiencia de aire en el neumático.

Figura 46

Notificación en la pantalla de auto compensación



Nota. En la figura se muestran los botones correspondientes para recargar el aire cuando dicho neumático lo necesite.

Ensamble del Sistema neumático

El sistema neumático que se muestra en la figura 47, es una parte del sistema de control la cual se instala a cada uno de los componentes iniciales formando un circuito neumático que debe estar libre de fugas para evitar pérdidas de aire y así obtener un auto compensado del neumático óptimo. Posteriormente, se procede a ensamblar todo el circuito neumático y ubicarlo en una zona específica y adecuada dentro del vehículo.

Figura 47

Conexión circuito neumático



Nota. En la figura se visualiza la conexión de los diferentes componentes neumáticos para su posterior ensamble en el vehículo.

Ensamble del circuito neumático de alimentación

Al tener el conjunto de componentes neumático armados para la alimentación de aire hacia cada rueda, se procede al ensamble del circuito neumático en una base fija que es ubicada en una zona estratégica en la parte posterior del vehículo, ilustrado en la figura 48.

Figura 48

Sistema neumático de alimentación



Nota. En la figura se visualiza el ensamble del circuito de alimentación neumático con salidas para cada rueda.

Ensamble de la base de la rueda y conectores neumático

Para sujetar los conectores que proporcionan aire al neumático cuando esté en deficiencia o bajo de presión, se conecta una base fija a la rueda y en mencionada base se instala el conector de aire giratorio con un rango de giro de 1200 rpm especificadas por el fabricante, como se puede visualizar en la figura 49.

Figura 49

Base y conector de aire giratorio



Nota. En la figura se visualiza el acoplamiento de la base y el conector giratorio que se instala en cada rueda para la auto compensación de aire.

Balanceo de los Neumáticos

Dentro del ensamble de los sistemas e implementos necesarios para el desarrollo del proyecto, la realización del balanceo de las ruedas con los componentes adjuntos es

importante, ya que es el balanceo es el proceso de ajustar y distribuir uniformemente el peso entre el neumático y la rueda. Esto con el fin de mantener la proporción adecuada entre ellos y así evitar las vibraciones generadas por el vehículo, tal como se ilustra en la figura 50.

Figura 50

Neumático sin balance



Nota. En la figura se visualiza el neumático en la máquina de balance.

Para poder ensamblar el sistema de monitoreo se instaló el sensor y el componente electrónico. Para el sistema de control, se adiciono la base donde se asentará la válvula giratoria para la compensación de aire. Todos estos componentes representan peso para el balance del neumático, tal como se muestra en figura 51. Mientras el neumático no esté con el balance correcto, este será más propenso a vibrar cuando el vehículo comience alcanzar velocidades altas.

Figura 51

Neumático con balance



Nota. En la figura se visualiza que el neumático ya paso por el proceso de balance

Hay dos formas de realizar el balanceo, estática y dinámica. En el primer caso que se implanta en proyecto y es accesible para el usuario en un centro de mantenimiento mecánico. Para este primer caso de balanceo, se colocan pequeños pesos sobre la llanta para lograr cierta estabilidad, mientras que el otro es, al contrario, teniendo en cuenta el peso del neumático para ajustarlo en consecuencia.

Tabla 17

Peso agregado en los neumáticos

Neumático	Peso interior (Oz)	Peso exterior (Oz)
1	35	85
2	60	95
3	20	100
4	15	85

Nota. En la tabla se visualiza el peso interior y exterior que se agregó a los neumáticos.

En la tabla 17, al realizar una comparativa del peso que se encuentra en el neumático antes y después del balanceo, se observa variaciones claras que los pesos que se agregaron a cada neumático no son los mismos a pesar que a cada uno se le incluye los mismos componentes. Esto demuestra que los neumáticos y aros se encuentran en distintos estados, por lo que cada uno requería un peso diferente para llegar al balance óptimo. Esto para que al realizar pruebas de ruta no presenten desconformidad en la conducción como vibraciones a altas velocidades.

Validación del sistema

Para validar el sistema, es necesario estipular un protocolo de trabajo y pruebas de funcionamiento del sistema a implantar que describe posteriormente. Además, se mostrará el funcionamiento individual de cada subsistema, como los sistemas de alerta temprana, monitoreo y control. Por último, se describirán detalladamente las distintas pruebas que se han realizado al sistema para comprobar su correcto funcionamiento, de forma que se obtenga los datos correctos y coincidan con el diseño del autor.

Protocolo de operación del sistema

En el protocolo de operación del sistema elaborado por los autores, se describen los pasos que se siguen para operar el sistema de una forma fácil y entendible para el conductor. Además de explicar cómo es el funcionamiento de cada uno de los sistemas de alerta, monitoreo y control. Se creó una aplicación personalizada dentro de la interfaz de la pantalla. esta aplicación se instala en una pantalla Android está a su vez será activada por el usuario inicialmente se crea un vínculo mediante la conectividad bluetooth entre la pantalla y el sistema central de monitoreo. Al confirmar la conexión en la pantalla se empieza a reflejar los valores en tiempo real de la presión de aire en cada neumático.

Posteriormente al existir alguna deficiencia de presión en los neumáticos se enciende una alarma visual y auditiva en la parte central del tablero de instrumentos del vehículo donde el conductor podrá observar que neumático se encuentra en fallo de presión. Continuamente después de unos segundos de ser alertado por algún desperfecto de presión en el neumático, en la pantalla Android se notifica una opción de recarga de aire a los neumáticos, en la que el usuario, tiene la decisión de activar el sistema auto compensación, como de no activarla.

Pruebas en el sistema implementado

Se han realizado diversas pruebas del sistema para asegurar el correcto funcionamiento y obtener valores precisos y fiables con el menor error posible, de forma que el sistema pueda proporcionar valores cercanos al real. Para que estas pruebas sean confiables, se comparan y verifican utilizando herramientas de medición específicas del sistema como manómetros, computadoras portátiles para comparar los valores reales del sensor con los valores especificados por el sistema construido, y luego comparar entre ellos. Cada prueba realizada en el sistema se describe en detalle a continuación.

Pruebas estáticas

Para las pruebas se dispone de un medidor de presión de aire con el que se determina los diferentes puntos de partida de presión y de tiempo que conlleva en llegar hasta la presión recomendada por el fabricante del neumático de 30 *Psi* mientras el vehículo está detenido. Las pruebas se realizan cuando existe un neumático con presión menor a la recomendada sucesivamente hasta cuando los cuatro neumáticos tienen presión menor a la recomendada a diferentes regímenes de presión inicial, con varias mediciones para obtener un valor promedio real.

Un neumático a baja presión

En la tabla 18, se observa el tiempo que se demora en llenar de aire un neumático cuando la presión de trabajo del neumático es del 50% equivalente a una presión de 13 psi con respecto a la presión recomendada por el fabricante.

Tabla 18

Llenado a de aire en un neumático con presión de trabajo al 50%

Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad	%	valor	unidad	valor	unidad
13	psi	100%	26	psi	46.10	s
	psi			psi	45.39	s
	psi			psi	45.27	s
13	psi	50%	26	psi	82.55	s
	psi			psi	81.78	s
	psi			psi	82.35	s
13	psi	5%	26	psi	292.13	s
	psi			psi	291.915	s
	psi			psi	291.897	s

Nota. La tabla muestra el tiempo que toma el llenado de un neumático a un caudal regulable a presiones menores de la recomendada.

Dos neumáticos a baja presión

En la tabla 19, se observa el tiempo que se demora en llenar de aire dos neumáticos cuando la presión de trabajo del neumático es del 50% equivalente a una presión de 13 psi con respecto a la presión recomendada por el fabricante.

Tabla 19

Llenado a de aire en dos neumáticos con presión de trabajo al 50%

Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad	%	valor	unidad	valor	unidad
13	psi	100%	26	psi	158.72	s
	psi			psi	157.937	s
	psi			psi	158.568	s
13	psi	50%	26	psi	299.21	s
	psi			psi	299.78	s
	psi			psi	299.86	s
13	psi	5%	26	psi	563.83	s
	psi			psi	563.976	s
	psi			psi	563.64	s

Nota. La tabla muestra el tiempo que toma el llenado de dos neumáticos a un caudal regulable a presiones menores a la recomendada.

Tres neumáticos a baja presión

En la tabla 20, se observa el tiempo que se demora en llenar de aire tres neumáticos cuando la presión de trabajo del neumático es del 50% equivalente a una presión de 13 psi con respecto a la presión recomendada por el fabricante.

Tabla 20

Llenado a de aire en tres neumáticos con presión de trabajo al 50%

Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad	%	valor	unidad	Valor	unidad
13	psi	100%	26	psi	239.435	s
	Psi			Psi	239.567	s
	Psi			Psi	238.869	s
13	Psi	50%	26	Psi	458.87	s
	psi			psi	458.34	s
	Psi			Psi	459.04	s
13	Psi	5%	26	Psi	882.745	s
	Psi			Psi	881.981	s
	Psi			psi	882.58	s

Nota. La tabla muestra el tiempo que toma el llenado de tres neumáticos a un caudal regulable a presiones menores a la recomendada.

Cuatro neumáticos a baja presión

En la tabla 21, se observa el tiempo que se demora en llenar de aire cuatro neumáticos cuando la presión de trabajo del neumático es del 50% equivalente a una presión de 13 psi con respecto a la presión recomendada por el fabricante.

Tabla 21

Llenado a de aire en cuatro neumáticos al 50%

Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad		valor	unidad	valor	Unidad
13	psi	100%	26	psi	203.56	s
	psi			psi	202.46	s
	psi			psi	204.78	s
13	psi	50%	26	psi	354.72	s
	psi			psi	355.23	s
	psi			psi	354.80	s
13	psi	5%	26	psi	1226.14	s
	psi			psi	1227.09	s
	psi			psi	1226.50	s

Nota. La tabla muestra el tiempo que toma el llenado de cuatro neumáticos a un caudal regulable a presiones menores a la recomendada.

Posterior al realizar pruebas estáticas individuales en cada neumático, finalmente se procede a la realización de una comparativa donde se interpreta de una manera conjunta el comportamiento de tiempo de inflado o recarga de los neumáticos, ilustrado en la tabla 22.

Tabla 22*Comparativa de auto compensación de aire a los neumáticos*

Número de neumáticos a presión baja	Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
	valor	unidad	%	valor	unidad	Valor promedio	unidad
Un neumático	13	psi	100	26	psi	45.586	s
			50			82.226	s
			5			291.980	s
Dos neumáticos	13	psi	100	26	psi	158.408	s
			50			299.616	s
			5			563.815	s
Tres neumáticos	13	psi	100	26	psi	239.290	s
			50			458.75	s
			5			882.768	s
Cuatro neumáticos	13	psi	100	26	psi	203.6	s
			50			354.916	s
			5			1226.663	s

Nota. La tabla muestra los tiempos promedios de inflado a diferentes aperturas de caudal de aire en las pruebas realizadas.

Como se puede observar en la tabla comparativa, el tiempo promedio requerido para inflar un neumático durante las diferentes pruebas es proporcional al porcentaje de la apertura del paso de caudal de aire hacia los neumáticos inflados al mismo tiempo.

Es decir, el tiempo se duplica o triplica, según la situación y cuando se requiere inflar los cuatro neumáticos el compresor hace más trabajo al inflar los neumáticos, por lo que se requiere más tiempo para suministrar aire y así llegar a la presión recomendada.

Pruebas dinámicas

En la prueba, se utiliza el mismo sistema de monitoreo por sensores y un manómetro de aire para determinar el tiempo que tarda el neumático en alcanzar la presión recomendada por el fabricante (26Psi) cuando el vehículo se encuentre en movimiento, esto lo realiza en una prueba de ruta.

Eje frontal

Se realiza una prueba partiendo desde el 50% de la presión recomendada por el fabricante en el eje delantero. Se tiene las pruebas de ruta en una zona urbana para la auto compensación de aire del neumático, tal como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23

Eje delanteros en prueba de ruta en zona urbana

Presión inicial		Campo de ruta	Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad			valor	unidad	valor	unidad
			100			136.98	s
						137.87	s
						137.28	s
13	psi	Urbano	50	26	psi	268.745	s
						268.45	s
						269.03	s
			5			456.02	s
						456.98	s
						456.34	s

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de llenado en prueba de ruta en zona urbana en los neumáticos del eje delantero.

En la tabla 24, se realiza una prueba partiendo desde el **50%** de la presión recomendada por el fabricante en el eje delantero. Se tiene las pruebas de ruta en una zona rural para la auto compensación de aire del neumático.

Tabla 24

Eje delanteros en prueba de ruta en zona rural

Presión inicial		Campo de	Apertura de	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad	ruta	caudal	valor	unidad	valor	unidad
			100			145.89	s
						144.97	s
						145.5	s
13	psi	Rural	50	26	psi	287.46	s
						287.87	s
						287.76	s
			5			528.29	s
						528.67	s
						528.12	s

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de llenado en prueba de ruta en zona rural en los neumáticos del eje delantero.

En la tabla 25 se realiza una prueba partiendo desde el 50% de la presión recomendada por el fabricante en el eje delantero. Se tiene las pruebas de ruta en una zona de autopista para la auto compensación del aire del neumático.

Tabla 25

Eje delanteros en prueba de ruta en zona de autopista

Presión inicial		Campo de ruta	Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad			valor	unidad	valor	unidad
			100			158.34	s
						160.1	s
						159.27	s
13	psi	Autopista	50	26	psi	312.08	s
						313.04	s
						311.95	s
			5			595.69	s
						594.89	s
						595.80	s

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de llenado en prueba de ruta en zona de autopista en los neumáticos del eje delantero.

Posterior al realizar pruebas en el eje frontal de diferentes zonas de ruta en cada neumático, finalmente se procede a la realizar una comparación, donde se interpreta de una manera conjunta el comportamiento del tiempo de inflado o recarga de los neumáticos, mostrando mencionados resultados en la tabla 26.

Tabla 26

Comparación del tiempo de llenado eje frontal

Zona de ruta	Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
	valor	unidad	%	valor	unidad	Valor promedio	unidad
Urbano	13	psi	100	26	psi	137.376	s
			50			268.74	s
			5			456.446	s
Rural	13	psi	100	26	psi	145.453	s
			50			287.693	s
			5			528.36	s
Autopista	13	psi	100	26	psi	159.236	s
			50			312.356	s
			5			595.46	s

Nota. En la tabla se visualiza el tiempo de llenado promedio de los neumáticos en el eje delantero a diferente porcentaje de apertura de caudal.

Eje posterior

En el eje posterior del vehículo se realiza una prueba partiendo desde el **50%** de la presión recomendada por el fabricante. Se tiene pruebas de ruta en una zona urbana para la auto compensación de aire del neumático, tal como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27

Eje posterior en prueba de ruta en zona urbana

Presión inicial		Campo de ruta	Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad			valor	unidad	valor	unidad
			100			141.87	s
						141.43	s
						140.99	s
13	psi	Urbano	50	26	psi	271.65	s
						270.87	s
						271.87	s
			5			456.02	s
						456.12	s
						455.96	s

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de llenado en prueba de ruta en zona de urbana en los neumáticos del eje posterior.

En el eje posterior del vehículo se realiza una prueba partiendo desde el **50%** de la presión recomendada por el fabricante. Se tiene las pruebas de ruta en una zona rural para la auto compensación de aire del neumático, tal como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28*Pruebas de llenado en el eje posterior en zona rural*

Presión inicial		Campo de ruta	Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad			valor	unidad	valor	unidad
			100			148.897	s
						149.56	s
						149.6	s
			50			291.43	s
13	psi	Rural		26	psi	291.66	s
						291.78	s
			5			531.13	s
						532.34	s
						531.8	s

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de llenado en prueba de ruta en zona rural en los neumáticos del eje posterior.

En el eje posterior del vehículo se realiza una prueba partiendo desde el **50%** de la presión recomendada por el fabricante. Se tiene las pruebas de ruta en una zona de autopista para la auto compensación de aire del neumático, tal como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Pruebas de llenado en el eje posterior en zona de autopista

Presión inicial		Campo de ruta	Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
valor	unidad		%	valor	unidad	valor	unidad
			100			162.79	s
						163.87	s
						163.2	s
13	psi	Autopista	50	26	psi	316.18	s
						317.09	s
						317.12	s
			5			599.89	s
						600.05	s
						599.01	s

Nota. En la tabla se muestra el tiempo de llenado en prueba de ruta en zona de autopista en los neumáticos del eje posterior.

Posterior al realizar pruebas en el eje posterior en diferentes zonas de ruta en cada neumático, se procede a realizar una comparación e interpretar el comportamiento de tiempo de inflado o recarga de los neumáticos, ilustrando en la tabla 30.

Tabla 30

Eje posterior a diferente porcentaje de apertura de caudal

Zona de ruta	Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
	valor	unidad	%	valor	unidad	Valor promedio	unidad
Urbano	13	psi	100	26	psi	141.43	s
			50			271.463	s
			5			456.03	s

Zona de ruta	valor	unidad	%	valor	unidad	Valor promedio	unidad
Rural	13	psi	100	26	psi	149.352	s
			50			291.623	s
			5			531.756	s
Autopista	13	psi	100	26	psi	163.286	s
			50			316.796	s
			5			599.65	s

Nota. En la tabla se visualiza el tiempo de llenado promedio de los neumáticos en el eje posterior a diferente porcentaje de apertura de caudal.

Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se comprobó el funcionamiento de todos los tres sistemas que componen el diseño implementado en el vehículo. Se realizó un énfasis en el funcionamiento del sensor, como es el voltaje de señal que emite hacia el microcontrolador. También se determinó el análisis del tiempo de recarga de aire en diferentes condiciones y número de neumáticos.

Análisis de funcionamiento de gestión eléctrica

Para poder que funcione de una manera óptima el diseño propuesto se necesitó de diferentes fuentes de alimentación, 12 voltios para el sistema de control, 5 voltios para el sistema central y 7.4 voltios para el sistema de monitoreo.

Voltaje de alimentación

Representa a la tensión que proporciona la batería del vehículo para que el inversor de 24 voltios y la fuente de 5 voltios funcionen de manera correcta. La fuente estándar de la batería Bosch S4 de 65Ah son los que se distribuye para el sistema de control, el cual no ha representado caídas de tensión en el momento del funcionamiento. De la misma manera de la salida de los 5 voltios para el sistema central de alerta.

Voltaje de masa

Es aquel valor de tensión que se mide entre masa y masa el cual debe reflejar un valor ideal de 0 voltios y como máximo de 30 mili voltios a 80 mili voltios.

Sensor de presión

Un sensor de presión es un dispositivo electrónico que mide o controla la presión de un gas o líquido y convierte esta información en una señal eléctrica que puede usarse para controlar o ajustar la fuerza medida como se muestra los valores de obtenidos en la tabla 31. El funcionamiento del sensor de presión depende del tipo de tecnología utilizada. Muchos transmisores de presión están disponibles en la actualidad y se pueden usar con una amplia variedad de líquidos y gases. Sin embargo, los líquidos más viscosos o más densos pueden requerir transductores especiales, es decir, que para casi cualquier vehículo que necesite medir presión, existe un tipo de sensor de presión muy adecuado, tal como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31

Valores de operación del sensor de presión

Valor	Unidad	Valor	Unidad
18	PSI	0.96	V
19	PSI	0.983	V
20	PSI	1.007	V
21	PSI	1.031	V
22	PSI	1.055	V
23	PSI	1.078	V
24	PSI	1.102	V
25	PSI	1.125	V

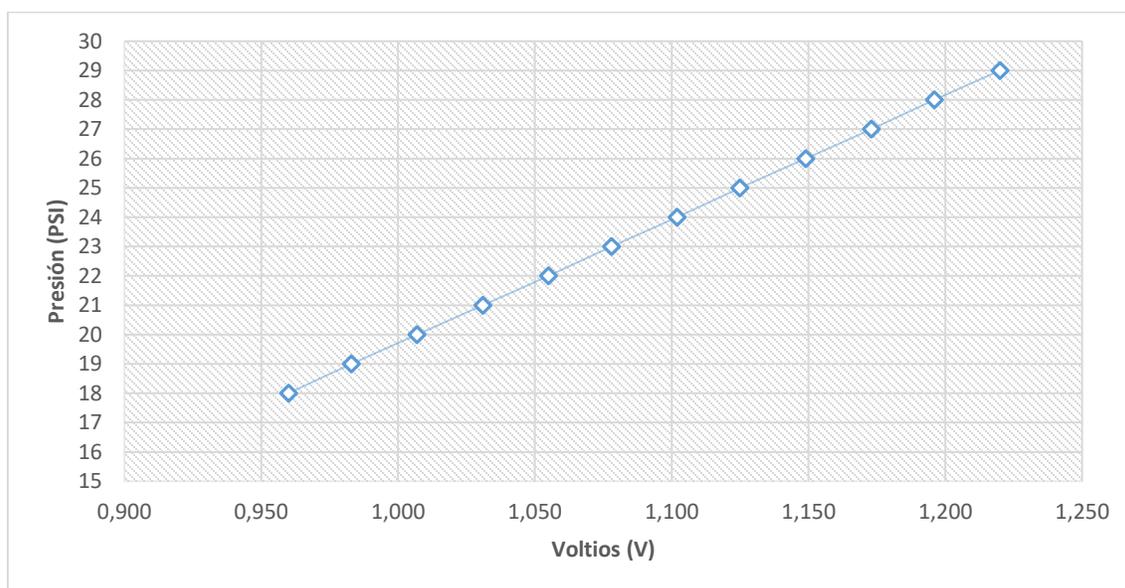
Valor	Unidad	Valor	Unidad
26	PSI	1.149	V
27	PSI	1.173	V
28	PSI	1.196	V
29	PSI	1.22	V

Nota. En la tabla se interpreta los valores de voltaje que envía el sensor al recibir determinada presión

El sensor de presión hecho de material de acero inoxidable duradero y de alta calidad posee una buena resistencia al aceite, resistencia al desgaste y buena tecnología de compensación obteniendo pequeño error de salida de 0.5% FS. Tiene también la función de protección contra sobre voltaje que completa este sensor y muestra datos muy exactos; para ello se refleja en la figura 52, un diagrama de presión volumen con este sensor.

Figura 52

Diagrama presión volumen



Nota. La ecuación lineal ha tomado valores desde los 18 a 29 psi por la razón que las alertas del sistema y presión del neumático se encuentran dentro de dicho intervalo.

Análisis de operación del sistema neumático

Carga de aire presurizado

Para que exista una carga de aire generado por el bloque compresor se debe suministrar 12 V de corriente continua, para lo cual se debe encender el vehículo o ponerlo en función (on), o accionar el switch del vehículo. Esto proporciona una tensión constante en el tiempo que permita la carga de aire en el depósito.

Para una carga óptima de aire se recomienda alcanzar los 50 psi en el manómetro del compresor, verificando que la llave de salida hacia el panel de control está abierta. Una vez alcanzada la presión establecida el bloque compresor detendrá su funcionamiento, posteriormente en caso que la cantidad de aire acumulada disminuya de la presión establecida se iniciará la carga de aire nuevamente.

Control de ingreso de aire presurizado

La operación del panel de control de aire presurizado hacia los ejes frontal y posterior se realiza mediante electroválvulas y un interruptor de presión que se activan automáticamente. Al energizarla con una tensión de 24 V y una corriente de 0.6 A por cada electroválvula conectada al eje delantero y trasero, adicionalmente es regulado el paso de caudal de aire por un regulador de presión unidireccional para cada eje.

A su vez, cuando se mantiene el aire en los neumáticos a una presión establecida por el fabricante se desactiva automáticamente las electroválvulas evitando el paso de más aire presurizado hacia los neumáticos produciendo una sobre presión, así también la desactivación de la alarma sonora y visual.

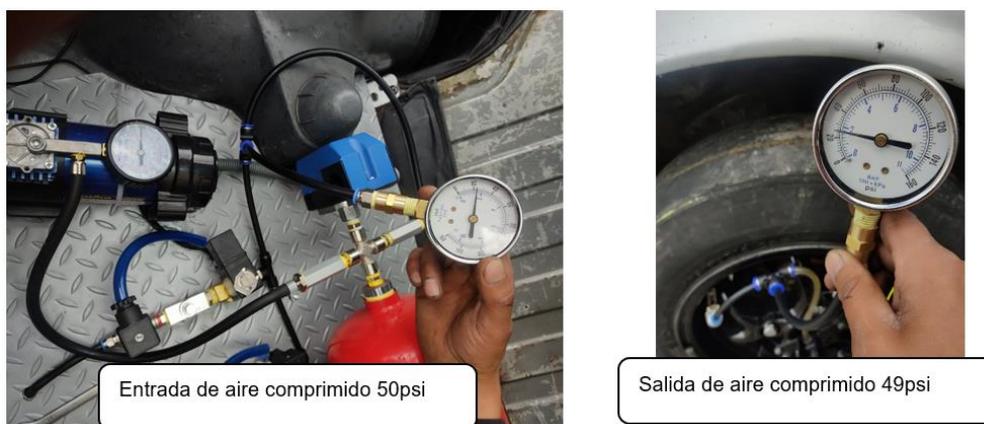
Análisis de pruebas de fugas

Para las pruebas de fugas se procede a realizar mediciones de ingreso de aire presurizado con un manómetro como se indica en la figura 53, el cual inicialmente se obtiene un valor de 50 psi en la entrada. Posteriormente se realiza la medición en la salida de aire presurizado a los neumáticos y el valor es de 49 psi; por lo tanto, se puede mencionar que se tiene una pérdida de 1 psi que equivale al 2% del valor total.

Por lo que se afirma que el sistema neumático es eficientemente hermético. Una vez establecido que no existen fugas tanto en funcionamiento estático como dinámico, hay que tener en cuenta que, si baja la presión de los neumáticos, el sistema se activará automáticamente y proporcionará la presión suficiente hasta que pueda ser reparado o sustituido. Para los neumáticos mencionados anteriormente, también se debe verificar la tubería de inflado para garantizar la estanqueidad del sistema.

Figura 53

Medición de pruebas de fugas



Nota. En la figura se muestra la realización de la prueba de fugas, demostrando las pérdidas que existen en el sistema neumático.

Análisis de resultados de pruebas estáticas y dinámicas

Mediante las pruebas estáticas y dinámicas, se realizó un análisis de resultados dentro de las de las tabulaciones comparativas y se determina los siguientes resultados mostrados a continuación.

Análisis en pruebas estáticas

Dentro del análisis estático por medio de las tabulaciones realizadas en pruebas, se obtiene una tabla comparativa final de análisis tomando en cuenta la máxima apertura de caudal del 100% y considerando el menor tiempo posible en ser llenado los neumáticos.

Analizada la tabulación de la tabla 32, se tiene un rango de presión del 50% del neumático con una apertura de caudal máxima del 100%, en donde la presión de llenado del neumático es de 26 psi. De acuerdo al resultado obtenido, se tiene que mientras más cantidad de neumático se encuentre con deficiencia de presión menor al 10% el tiempo de llenado aumenta a pesar de que el paso de caudal de aire se encuentre abierto en su totalidad.

Tabla 32

Comparativa de pruebas estáticas

Número de neumáticos a presión baja	Presión inicial		Apertura de caudal	Presión final		Tiempo de llenado	
	valor	unidad	%	valor	unidad	Valor promedio	unidad
Un neumático	13	psi	100	26	psi	45.586	s
Dos neumáticos	13	psi	100	26	psi	158.408	s
Tres neumáticos	13	psi	100	26	psi	239.290	s
Cuatro neumáticos	13	psi	100	26	psi	203.6	s

Nota. En la tabla se puede visualizar parámetros iniciales y finales con tiempos de llenado del neumático menores.

Análisis dinámico

Dentro del análisis dinámico por medio de las tabulaciones realizadas en pruebas, se obtiene una tabla comparativa final de análisis tomando en cuenta la máxima apertura de caudal sea en el eje delantero o posterior también las zonas transitadas por él y el menor tiempo posible en ser llenado los neumáticos.

Analizada la tabulación de la tabla 33, se tiene un rango de presión del 50% del neumático con una apertura de caudal máxima del 100%, en donde la presión de llenado del neumático es de 26 psi. Estos parámetros son tanto para eje delantero y posterior respectivamente.

De acuerdo al resultado obtenido, se tiene que mientras la zona a transitar por el vehículo sea a menor velocidad y se tenga un neumático con deficiencia de presión menor al 10% y una apertura máxima de caudal del 100% el tiempo de llenado aumenta, si se tiene una mayor velocidad del vehículo y una velocidad más baja, el tiempo de llenado del neumático será con mayor rapidez.

Tabla 33

Comparativa de pruebas dinámicas eje delantero y posterior

Zona de ruta	Presión inicial		Apertura de caudal %	velocidad Km/h	sesión del vehículo	Tiempo de llenado	
	Inicial PSI	Final PSI				Valor promedio	unidad
Urbano	13	26	100	40 a 50	eje delantero	137.376	s
Rural	13	26	100	50 a 60	eje delantero	145.453	s

Zona de ruta	Inicial PSI	Final PSI	%	Km/h	eje delantero	Valor promedio	unidad
Autopista	13	26	100	70 a 100	eje delantero	159.236	s
Zona de ruta	Inicial PSI	Final PSI	%		eje delantero	Valor promedio	unidad
Urbano	13	26	100	40 a 50	Eje posterior	141.43	s
Rural	13	26	100	50 a 60	Eje posterior	149.352	s
Autopista	13	26	100	70 a 100	Eje posterior	163.286	s

Nota. En la tabla se puede visualizar parámetros iniciales y finales con tiempos de llenado del neumático menores y zonas de ruta.

Capítulo V

Marco Administrativo

En este capítulo se detalla a los recursos utilizados para la construcción del diseño propuesto, en el cual se diferenciará recursos humanos, materiales, financieros, tecnológicos. Así también se describe las conclusiones y recomendaciones a las que se obtuvieron mediante las pruebas realizadas en el proyecto de investigación, diseño y construcción de un sistema de alerta temprana, monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos de vehículo.

Recursos empleados

Recursos Materiales

Los recursos materiales que fueron utilizados para la investigación se enlistan en la tabla 34.

Tabla 34

Recursos materiales

Cantidad	Descripción
4	ESP8266
1	ESP32
4	Sensor HK1100C
4	Batería Lipo 7.4V
4	Carcasa porta sensor
4	Led
1	Buzzer
1	Pantalla Android 9"
1	Interruptor
1	Batería 12 V Bosch S4

Cantidad	Descripción
1	Cañería 3/8 con acoples
2	Cables de alimentación 12 V
1	Compresor ¾ HP
1	Depósito de aire
4	Bases de la válvula giratoria
1	Base del depósito de aire
4	Electroválvulas
4	Electroswitch
2	Válvula Check
4	Regulador de caudal unidireccional
4	Válvulas giratoria
4	Acoples rápidos para las válvulas
2	Manómetro
1	Convertidor de 24V

Nota. En la tabla se visualiza los materiales para el ensamble del proyecto de investigación.

Recursos Humanos

En la tabla 35 se enlista a las personas que aportaron con ideas para el diseño propuesto.

Tabla 35*Talento humano*

Orden	Nombre	Función
1	Chisaguano Fernando	Investigador
2	López Alex	Investigador
4	Ing. Cristian Paredes	Director del proyecto de investigación

Nota. En la tabla se menciona al recurso humano que participo en el proyecto de investigación.

Recursos Financieros

El recurso económico para la construcción del proyecto de investigación se detalla en la tabla 36.

Tabla 36*Costos de los recursos materiales*

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Total
1	ESP8266	8	4	32
2	ESP32	12	1	12
3	Sensor HK1100C	35	4	140
4	Batería Lipo 7.4V	20	4	80
5	Carcasa porta sensor	7	4	28

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Total
6	Led	0,25	4	1
7	Buzzer	1	1	1
8	Pantalla Android 9"	90	1	90
9	Interruptor	1	1	1
10	Batería 12 V Bosch S4	80	1	80
11	Cañería 3/8 con acoples	10/mt	1	50
12	Cables de alimentación 12 V	10/mt	2	5
13	Compresor ¾ HP	50	1	50
14	Depósito de aire	20	1	20
15	Bases de la válvula giratoria	10	4	40
16	Base del depósito de aire	20	1	20
17	Electroválvulas	80	4	320
18	Electroswitch	50	4	200
19	Válvula Check	25	2	50
20	Regulador de caudal unidireccional	30	4	30
21	Válvulas giratorias	90	4	360

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Total
22	Acoples rápidos para las válvulas	15	4	60
23	Manómetro	15	2	30
24	Convertidor de 24V	15	1	15

Nota. En la tabla se describen los costos de los componentes empleados para la realización del proyecto de investigación.

Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos fueron principales para poder tabular los datos y realizar el análisis de los resultados del proyecto desarrollado, tal como se describe en la Tabla 37.

Tabla 37

Recursos tecnológicos

Software	Descripción
Simulación de circuitos	Software para el desarrollo de circuitos electrónicos
Simulación de fluidos	Software para la simulación de circuitos neumáticos
Simulador de programación	Software para la programación de los sistemas electrónicos
Modelado 3D	Software para modelado y Análisis

Nota. En la tabla se detallan los recursos tecnológicos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Conclusiones

- La transferencia de datos del sistema de microcontrolador utilizados ESP8266 mediante la conexión Wifi no genera interferencias en la transmisión de datos al estar en rotación de los neumáticos, ya sea a bajas o altas velocidades los datos se transfieren de manera óptima y eficiente con un tiempo de reacción entre 1 segundo o menos.
- Con la implementación de los microcontroladores ESP32 y 8266 utilizados en el proyecto se tiene una transferencia de datos rápida y eficiente, permitiendo reflejar en la pantalla valores de presión obtenidos por el sensor en los neumáticos. Gracias a esta comunicación de datos rápida entre el sensor y la pantalla, y cuando existe una deficiencia de presión de aire en los neumáticos, la alarma tiene una activación inmediata, garantizando el óptimo funcionamiento del sistema implementado.
- La implementación de una aplicación para el monitoreo de la presión de aire de los neumáticos optimizó la utilización de una pantalla adicional, ya que en el vehículo a implementar dicho sistema contaba con una pantalla Android, brindando una resolución de calidad y una reducción de costos en el desarrollo del proyecto.
- Con la implementación del sistema neumático se puede garantizar una conducción segura, ya que al incorporar el sistema de control y compensación neumática en caso fortuitos donde pueda existir una deficiencia de presión de aire de los neumáticos, en una ruta aislada o peligrosa de agentes externos y que no se encuentre cerca un centro de mantenimiento mecánico, este sistema le permitirá al conductor trasladarse por dicha carretera de manera óptima y eficiente hasta proceder a realizar el correcto mantenimiento o reparación del neumático en mal estado.
- Mediante la implementación del sistema de alerta temprana monitoreo y control de la presión de aire de los neumáticos, se tiene una optimización del rendimiento del neumático y una prolongación la vida útil del 20% adicional, ya que al encontrarse monitoreado constantemente este sistema, se tiene una presión óptima de trabajo en

los neumáticos. Esto ayuda al usuario a proteger otros elementos o sistemas mecánicos del vehículo, reduciendo gastos económicos anticipados por reparaciones de otros elementos a causa del neumático a baja presión o del mismo neumático por deterioro del mismo.

Recomendaciones

- Se recomienda trabajar con un voltaje de 7.4 V en los componentes electrónicos como la ESP8266 u otros, ya que brinda un mejor funcionamiento del microcontrolador en la obtención y transferencia de datos, a su vez la utilización de este valor de voltaje, permite prolongar la vida de trabajo de estos componentes.
- Se recomienda utilizar elementos de protección de corriente en cada sistema eléctrico a implementar en el vehículo, para evitar el daño de componentes electrónicos o eléctricos, causados por una variación dentro de la fuente de alimentación del sistema a implementar.
- Para futuras investigaciones, se recomienda complementar al sistema de alerta, control y monitoreo con la inclusión de otros sistemas principales y complementarios existentes en el vehículo; esto con la finalidad de mantener un monitoreo general del vehículo para evitar fallas graves en componentes del mismo.
- Para futuras investigaciones se recomienda la utilización de un compresor de mayor capacidad para que el sistema principal de generador de aire presurizado, pueda generar más volumen de aire para un neumático de mayor tamaño y su llenado sea más rápido y eficiente.
- Se recomienda realizar un mantenimiento del sistema neumático de compensación de aire a los 80 mil kilómetros de uso de la misma forma que lo realizaría en cualquier sistema del vehículo, ya que por la presurización de aire dentro del sistema se puede encontrar líquido condensado (agua) que posteriormente podría provocar un deterioro de los elementos metálicos dentro del sistema neumático.

Bibliografía

Airpol. (29 de julio de 2023). *virtual expo group*. Obtenido de directindustry:

www.directindustry.es

anonimo. (11 de noviembre de 2020). *¿Sabes si tus llantas tienen la presión correcta?* Obtenido

de nexu: <https://www.nexu.mx/blog/saber-la-presion-correcta-de-los-neumaticos/>

ASHM, Aceros y Sistemas Hidráulicos de México S.A. de C.V. (15 de enero de 2018). *ASHM*.

Obtenido de <https://www.ashm.mx/blog/reguladores-de-presion-de-aire/>

Belflex., g. (2008). *Manual de instrucciones compresores silenciosos*. . Barcelona.

Brathwaite, T. (8 de Junio de 2021). *regulador de presión*. Obtenido de america.sullair:

<https://america.sullair.com/es/blog/que-es-un-regulador-de-presion>

Canal Software. (22 de enero de 2001). *canalsw*. Obtenido de canalsw:

<http://www.canalsw.com.mx>

Carmenate, J. G. (7 de 3 de 2022). *Programarfacil*. Obtenido de Programarfacil:

<https://programarfacil.com/esp8266/esp32/>

Carrasco, D. (14 de Mayo de 2021). *ElectroSoftCloud*. Obtenido de ElectroSoftCloud:

<https://www.electrosoftcloud.com/esp-now-conecta-dos-o-mas-esp32-esp8266/>

Ceja, J. R. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de ingeniería eléctrica*, 24-36.

- Components101. (10 de 8 de 2023). *Components101*. Obtenido de Components101:
<https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>
- Crabi. (20 de julio de 2023). *¿Cuál es el significado de los números que tienen las llantas?*
 Obtenido de crabi: <https://www.crabi.com/blog/consejos-significado-numeros-de-las-llantas>
- Formentin, S. O. (2021). h-TPMS: un sistema híbrido de control de la presión de los neumáticos para vehículos de carretera. *Elsevier*, 74.
- Goodyear. (19 de febrero de 2020). *Presión de los neumáticos: todo lo que debes saber*.
 Obtenido de <https://kilometrosquecuentan.goodyear.eu/presion-neumaticos/>
- Grupoprofuego. (12 de Mayo de 2022). *Extintor*. Obtenido de Grupoprofuego:
<https://profuego.es/definicion-tipo-y-clasificacion-de-extintores/?cn-reloaded=1>
- Hubot. (18 de 10 de 2023). *Hubot.cl*. Obtenido de Hubot.cl: <https://hubot.cl/producto/sensor-de-presion-gas-agua-aceite-hk1100c-1-2mpa-g1-4-sku-582g3/>
- Inc, A. S. (3 de mayo de 2022). *INTERRUPTOR DE PRESIÓN: TIPOS, APLICACIONES Y CÓMO FUNCIONAN*. Obtenido de anfieldsensors:
<https://anfieldsensors.com/blog/pressure-switch-types-applications-and-how-they-work/>
- Industrial, M. (7 de julio de 2023). *2/2 way n.c. pilot diaphragm type solenoid valve*. Obtenido de Mindman: <https://www.mindman.com.tw/product-MUSK.html>
- INEN. (2014). *RTE 011 [RTE INEN 011, subsecretaría del sistema de la calidad de la productividad]*. servicio ecuatorino de normalizacion inen, Ecuador. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-011-1R.pdf>

- INEN. (2019). *Resolución No. 16 382 [RTE INEN 034, subsecretaría del sistema de la calidad de la productividad]*. servicio ecuatoriano de normalización, Ecuador. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-034-4R.pdf>
- Leithold, L. (1998). *el calculo*. Mexico: Oxford University Press.
- López, N. (3 de diciembre de 2018). *Cómo medir correctamente la presión de los neumáticos*. Obtenido de autobild: <https://www.autobild.es/practicos/como-medir-correctamente-presion-neumaticos-339117>
- Luca Onesto, T. C. (2021). h-TPMS: a hybrid tire pressure monitoring system for road vehicles. *Elsevier*, 8-12.
- Luna Mendoza Jaime [artículo, Introducción al Estudio de Sistemas Neumáticos]. (5 de Agosto de 2023). Introducción al Estudio de Sistemas Neumáticos. *Neumatica-libre*.
- Martín, J. A. (2021). Sistema de detención remota de vehículos a través del protocolo de motorización de presión de los neumáticos [Tesis de ingeniería, Universidad Complutense Madrid]. *Ingeniero Informático*. Repositorio Institucional, Madrid. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14352/10456>
- Mateo, J. P. (11 de octubre de 2014). *Aire convencional o nitrógeno para las ruedas*. Obtenido de autofacil: <https://www.autofacil.es/tecnica/aire-convencional-o-nitrogeno-ruedas/101012.html>
- Megatronica. (13 de 1 de 2023). *Megatronica robotica y electronica*. Obtenido de Megatronica robotica y electronica : <https://megatronica.cc/producto/bateria-de-lipo-litio-zop-power-7-4v-100mah-20c/>
- Mendoza, L. (5 de Agosto de 2023). Introducción al Estudio de Sistemas Neumáticos. *Neumatica-libre*.

Milla-León Rodríguez, R. F. (2020). Desarrollos tecnológicos en el pretratamiento químico de piezas de acero laminado para un posterior proceso de pintado en polvo electrostático. *Repositorio Institucional UTEC*.

Morales, J. A. (12 de 2 de 2022). *Pasion Electronica* . Obtenido de Pasion Electronica : <https://pasionelectronica.com/esp32-caracteristicas-y-pines/>

Morant. (29 de julio de 2023). *instalacionemorant*. Obtenido de <https://instalacionemorant.com/project/depositos-aire-comprimido/>

Mott, R. L. (2006). *mecanica de fluidos*. mexico: pearson educacion.

Muñoz, J. E. (2019). *Desarrollo de un Sistema de [Tesis de ingeniería, Universidad Politécnica de Cartagena]*. Repositorio Institucional.

Nalón, D. d. (23 de marzo de 2009). *tecnonalon*. Obtenido de <https://tecnonalon.wordpress.com/>

NV, A. C. (20014). *atlascope*. Obtenido de Belgium: www.atlascope.com

pruebaderuta. (2023). *pruebaderuta.com*. Recuperado el 5 de agosto de 2023, de https://www.pruebaderuta.com/calibrador-electronico-neumaticos.php#google_vignette

Reserved, B. L. (2019). *¿Qué significan los números de las llantas?* Obtenido de highbattery: <https://highbattery.com/que-significan-los-numeros-de-las-llantas/>

Rodríguez, G. (5 de noviembre de 2019). *movilidad industrial*. Obtenido de elvatron: <https://www1.elvatron.com/movilidadindustrial>

Ruiz, M. (11 de noviembre de 2020). *¿Sabes si tus llantas tienen la presión correcta?* Obtenido de nexu: <https://www.nexu.mx/blog/saber-la-presion-correcta-de-los-neumaticos/>

Salvador. (1993). *Introducción a la neumática*. Barcelona: marcombo s.a.

tamesos. (10 de agosto de 2023). *Centro de Información Técnica de Tameson*. Obtenido de tameson: <https://tameson.es/pages/technical-info>

Uriarte, I. (18 de 2 de 2020). *Prometec*. Obtenido de Prometec: <https://www.prometec.net/blog-curso-esp32-pin-tactil/>

Valderrama, J. &. (2020). ESP8266: Un microcontrolador para el Internet de las Cosas. *Universidad Central de Venezuela, Tech. Rep. Accessed: May, 8.*

Valero, C. (2 de Marzo de 2023). *adsl zone*. Obtenido de adsl zone: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>

Vergara, G. N. (2016). Diseño e instrumentación de una línea de aire comprimido para un laboratorio académico. *Scientia et Technica*, , 105-114.

Anexos