

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Generación de aire comprimido, mediante un
mecanismo mecánico, utilizando la energía cinética
de desplazamiento de vehículos ligeros”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTOR:

BACH. Campos Valencia, Abraham

ASESOR:

ING. MS. Escalante Espinoza, Nelter Javier

Código Orcid: 0000-0001-8586-3021

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR


La presente tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme el reglamento general para obtener el Título profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo con la denominación siguiente:

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

**“GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, MEDIANTE UN MECANISMO MECÁNICO,
UTILIZANDO LA ENERGÍA CINÉTICA DE DESPLAZAMIENTO DE VEHÍCULOS
LIGEROS”**

Autor:

Bach. Campos Valencia, Abraham



Msc. Escalante Espinoza Nélver Javier
COD. ORCID. 0000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA


ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente trabajo tesis titulado: **"Generación de aire comprimido, mediante un mecanismo mecánico, utilizando la energía cinética de desplazamiento de vehículos ligeros"**, para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, presentado por el bachiller: **Campos Valencia Abraham, con código de matrícula N° 0201616040**, que tienen como asesor al Msc. Escalante Espinoza Nélver Javier.

Ha sido revisado y aprobado el día 01 de agosto del 2025 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante la resolución N° 203-2025-UNS-CFI.

Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.



Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
COD. ORCID 0000-0002-4498-0034
DNI:08597503
Presidente



Ms. Luis Carlos Calderón Rodríguez
COD. ORCID. 0000-0002-9447-2257
DNI 32977058
Secretario



Escalante Espinoza Nélver Javier
COD. ORCID 0000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS


El día 01 del mes de agosto del año dos mil veinticinco, siendo las 12:00 pm., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a lo dispuesto en el Oficio Múltiple N° 034-2022-UNS-CU-SG, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 203-2025-UNS- CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 490-2025-UNS-FI integrado por los docentes: **Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz (presidente)**, **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (secretario)** y el **Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Integrante)**, **Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez (accesitario)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"GENERACION DE AIRE COMPRIMIDO, MEDIANTE UN MECANISMO MECANICO, UTILIZANDO LA ENERGIA CINETICA DE DESPLAZAMIENTO DE VEHICULOS LIGEROS "** perteneciente a los bachiller: **CAMPOS VALENCIA ABRAHAM** , con código de matrícula N°0201616040, quien fue asesorado por el Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza, según Resolución Decanal N.º 620-2021-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CAMPOS VALENCIA ABRAHAM	16	REGULAR

Siendo las 12:30 p m del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, agosto 01 de 2025


Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
PRESIDENTE


Msc. Luis Carlos Calderón Rodríguez
SECRETARIO


Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Abraham Campos Valencia
Título del ejercicio:	Informe Final de Tesis
Título de la entrega:	"GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, MEDIANTE UN MECANIS...
Nombre del archivo:	IFT_-_Abraham_Campos.pdf
Tamaño del archivo:	6.93M
Total páginas:	102
Total de palabras:	16,043
Total de caracteres:	88,728
Fecha de entrega:	06-dic-2025 11:25p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2838193219

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

"GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, MEDIANTE UN
MECANISMO MECÁNICO, UTILIZANDO LA ENERGÍA CINÉTICA
DE DESPLAZAMIENTO DE VEHÍCULOS LIGEROS"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

PRESENTADO POR:

BACH. CAMPOS VALENCIA, ABRAHAM

ASESOR:

ING. MS. ESCALANTE ESPINOZA, NELVER JAVIER

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025

“GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, MEDIANTE UN MECANISMO MECÁNICO, UTILIZANDO LA ENERGÍA CINÉTICA DE DESPLAZAMIENTO DE VEHÍCULOS LIGEROS”

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Tecnologica del
Peru

Trabajo del estudiante

1%

4

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uts.edu.co:8080

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.pascualbravo.edu.co:8080

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

comimsa.repositorioinstitucional.mx

Fuente de Internet

1%

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por brindarme y darme la oportunidad de realizar mi proyecto como parte de mi vida profesional, ya que gracias a él logre terminar mi carrera con éxito.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi hijo, mis padres y esposa pues sin ellos no lo habría logrado. Su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y apoyo que siempre me han brindado para ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Santa, por brindarme el apoyo y la oportunidad para desarrollarme con éxito durante mi etapa universitaria.

A mi asesor, Ms. Nelver Escalante Espinoza, por tomarse el tiempo y brindarme el apoyo e información necesaria para desarrollar este proyecto.

A mis amigos y docentes, quienes estuvieron dispuestos a escuchar en todo momento inquietudes de mi parte, para así poder tener una mejor perspectiva de las cosas.

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.3. Antecedentes.....	2
1.3.1. Antecedentes internacionales.....	2
1.3.2. Antecedentes internacionales.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Formulación de la hipótesis.....	6
1.6. Justificación	6
1.6.1. Justificación tecnológica	6
1.6.2. Justificación económica.....	7
1.6.3. Justificación social	8
1.6.4. Justificación ambiental.....	8
1.7. Limitaciones del trabajo.....	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Marco Referencial	10
2.1.1. Reductor de velocidad.....	10

2.1.2. Resortes para el retorno de la rampa	11
2.1.3. Recipiente de presión	15
2.1.4. Sistema neumático.....	18
2.1.5. Componentes del sistema neumático	19
2.1.6. Generación de aire comprimido a través de un mecanismo	20
2.1.7. Depósito de aire comprimido.....	21
2.1.8. Filtros	22
2.1.9. Regulador de presión.....	23
2.1.10. Válvulas.....	24
2.1.11. Dimensiones de las tuberías.....	25
2.1.12. Mecanismos	30
2.1.13. Grados de libertad.....	31
2.1.14. Tipos de mecanismos	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Materiales	37
3.2. Métodos	38
3.3. Metodología.....	39
3.4. Identificación de variables.....	40
3.5. Matriz operacional.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	41
4.1. Resultados.....	41
4.2. Discusión	45

V.	CONCLUSIONES	48
VI.	RECOMENDACIONES.....	49
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
VIII.	ANEXOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Rampa mecánica	11
Figura 2 Resorte helicoidal de torsión simple y doble.....	12
Figura 3 Resorte de Hilo	13
Figura 4 Resorte de cepillo.....	13
Figura 5 Resorte de Potencia.....	14
Figura 6 Recipiente a presión.....	15
Figura 7 Esquema de un sistema neumático.....	19
Figura 8 Mecanismo acumulador de aire comprimido.....	20
Figura 9 Esquema de depósito de aires y sus componentes	21
Figura 10 Filtro de aire	23
Figura 11 Regulador de presión de aire	23
Figura 12 Mangueras de circuitos neumáticos	26
Figura 13 Mecanismo de compresión para reductor de velocidad.....	31
Figura 14 Movimiento para mecanismo mecánico	34
Figura 15 Mecanismos de transmisión lineal.....	35
Figura 16 Mecanismo de transmisión circular.....	36
Figura 17 Flujo vehicular dentro de la UNS.....	43
Figura 18 Lugar de instalación de circuito colector de aire para una sola vía de tránsito....	52
Figura 19 Toma de medidas de vehículo en 3 puntos	53
Figura 20 Facetas de mecanismo colector de aire.....	54
Figura 21 Accionamiento de mecanismo mediante el desplazamiento de un vehículo.....	55
Figura 22 Tabla de selección para tanque pulmón.....	67
Figura 23 Tabla de modelo modular filtro regulador serie AW.....	69
Figura 24 Parámetros de operación de Modelo modular filtro regulador serie AW	69

Figura 25 Características de caudal del filtro regulador AW20-D	70
Figura 26 Circuito neumático y depósito de aire comprimido.....	75
Figura 27 Dimensiones para simulación	82
Figura 28 Vista frontal de mecanismo	82
Figura 29 Peso que soporta el mecanismo c	84
Figura 30 Apoyo fijo en base de la estructura.....	84
Figura 31 Valores admisibles	85
Figura 32 Criterios de deflexión máxima	86
Figura 33 Factor de seguridad tabulado	86
Figura 34 Tensión máxima	87
Figura 35 Deflexión.....	88
Figura 36 Factor de seguridad.....	89
Figura 37 Mecanismo.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Materiales para fabricación de recipientes a presión</i>	17
Tabla 2 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	40
Tabla 3 <i>Operacionalización de la variable dependiente Operacionalización de la variable dependiente</i>	40
Tabla 4 <i>Datos de vehículos que circulan por vía de CEPUNS tomados durante el mes de junio del 2024</i>	41
Tabla 5 <i>Resumen estadístico Resumen estadístico</i>	43
Tabla 6 <i>Distribución de cruce Distribución de cruce</i>	44
Tabla 7 <i>Promedio de cantidad de vehículos por hora del día Promedio de cantidad de vehículos por hora del día</i>	44
Tabla 8 <i>Datos de toma de medidas de diferentes vehículos en 3 puntos Datos de toma de medidas de diferente vehículo en 3 puntos</i>	53
Tabla 9 <i>Materiales de mecanismo</i>	72
Tabla 10 <i>Diseño de tanque</i>	75

RESUMEN

La presente investigación desarrolló un sistema para la generación de aire comprimido mediante un mecanismo que aprovechó la energía cinética del paso de los vehículos ligeros para la generación de aire comprimido. La investigación se desarrolló desde el análisis del flujo vehicular dentro de las instalaciones de la UNS, el cual nos brindó un promedio de 13 autos por hora, luego se diseñó un mecanismo para la generación de aire comprimido, mediante el software SolidWorks. Para la contención del aire, se seleccionó un tanque pulmón mediante los catálogos de la empresa Kaeser Compresores, la cual nos brinda 90 litros, y tiene un rango de presión de trabajo entre 0-160 PSI, cuenta con una altura de 1158 mm y un diámetro de 350 mm, para asegurarnos que este tanque cuente con un espesor adecuado calculamos un espesor mínimo de fabricación de 4.5 mm. Para la selección de los sistemas neumáticos por medio de las tablas de los catálogos de SMC seleccionamos un filtro regulador AW20-D Filtro regulador de 0.25 in. También se pudo realizar un prototipo experimental mediante un mecanismo simple, accionado con el peso de una persona, logrando coleccionar aire comprimido en un cilindro neumático, teniendo una presión de entrada de 7.5 PSI por cilindro y una presión de salida de tanque de 40 PSI, para luego recalcularlo para un prototipo a escala.

Palabras Clave: Aire Comprimido, Mecanismo Mecánico, Energía Cinética.

ABSTRACT

This research developed a system for the generation of compressed air through a mechanism that takes advantage of the kinetic energy of the passage of light vehicles for the generation of compressed air. The research was developed from the analysis of the vehicular flow within the UNS facilities, which gives us an average of 13 cars per hour, then a mechanism for the generation of compressed air, using SolidWorks software. For air containment, a pulmonary tank was selected through the catalogs of the Kaeser Compressors company, which provides us with 90 liters, and has a working pressure range between 0-160 PSIG, has a height of 1158 mm and a diameter of 350 mm, to ensure that this tank has an adequate thickness, we calculate a minimum manufacturing thickness of 4.5 mm. For the selection of pneumatic systems through the tables in the SMC catalogs, we selected an AW20-D ¼" filter regulator. An experimental prototype was also made using a simple mechanism, actuated by the weight of a person, managing to collect compressed air in a pneumatic cylinder, having an inlet pressure of 7.5 PSI per cylinder and a tank outlet pressure of 40 PSI, to later recalculate it for a scale prototype.

Keywords: Compressed Air, Mechanical Mechanism, Kinetic Energy.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

La producción de aire comprimido es un procedimiento fundamental en diversos ámbitos industriales; no obstante, presenta varios retos técnicos, energéticos y medioambientales. Un problema significativo es su escasa eficiencia energética, ya que una gran parte de la electricidad empleada en los compresores (entre el 70 % y 90 %) se transforma en calor, que se pierde si no se utilizan sistemas para recuperar este calor.

Asimismo, la dependencia de maquinaria que utiliza motores eléctricos de gran potencia resulta en altos gastos operativos y un considerable consumo energético, lo cual afecta directamente la sostenibilidad y la competitividad de las empresas. También, hay que considerar el mantenimiento regular de compresores, filtros y sistemas de secado; la humedad, el aceite o las impurezas en el aire comprimido pueden dañar el equipo neumático y comprometer la calidad del producto final.

Desde un ángulo medioambiental, la utilización de fuentes de energía no renovables para alimentar los compresores lleva a una contribución indirecta en la liberación de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es necesario mejorar los sistemas de generación, almacenamiento y distribución de aire comprimido utilizando tecnologías más eficientes y sostenibles, como compresores de velocidad variable, sistemas de control inteligentes o soluciones que no requieran de combustibles fósiles.

1.2. Formulación del problema

Al observar el flujo vehicular en se detectó la posibilidad de implementar un mecanismo tipo rompemuelleres para aprovechar el flujo vehicular, de acuerdo con

Andrés G. y Juan V. (2013) existe una gran variedad de geometrías y tipos de reductores de velocidad, que influyen en el tráfico diario de la ciudad, por lo cual es necesario hacer un análisis de las geometrías idóneas.

Quispe (2017), al detectar la problemática de zonas urbanas en las cuales no llega el fluido eléctrico, evalúa la energía potencial de un vehículo ya que debido a su peso puede ser aprovechada a través de un mecanismo que la transforme en energía cinética para luego convertirla en energía eléctrica.

Palma (2017) en su tesis utiliza el aire comprimido en diversas áreas de producción, sin embargo, detecta fugas en los sistemas de aire, por lo cual es conveniente tener una adecuada selección de componentes para evitar la contaminación del producto y de los sistemas de aire.

Debido ello, para la presente investigación, se hace necesario plantearnos la siguiente incógnita: ¿Cómo generar aire comprimido mediante el diseño de un mecanismo mecánico que utilice la energía cinética de desplazamiento de vehículos ligeros?

1.3. Antecedentes

1.3.1. Antecedentes internacionales

Henao C., Vega D. y Alvarez J. (2016), en su investigación diseña un mecanismo modular fijado en el trayecto contiguo a los peajes del Colombia – Medellín, que permitirá la generación de electricidad por medio del flujo vehicular y el desplazamiento másico que presentan los mismos. El prototipo desarrollado de reductor de velocidad en este trabajo, se diseñó de manera tal que sea fácil para mantenimiento y sostenimiento del mismo, este prototipo, debido a que causa un primer impacto visual de resalto, sirviendo como controlador de velocidad para el aproxime a un peaje y adicional a esto generar

un extra en electricidad lo que se vería reflejado como un ahorro de gran proporción.

Galán A. y Vélez J. (2013), en su investigación vio necesario la intervención de la ingeniería de tránsito para la regulación del flujo vehicular debido al aumento del parque automotor en Ecuador. Parte importante de la ingeniería de tránsito es la colocación de reductores de velocidad en tramos donde los usuarios no respetan los límites establecidos. Para ello se ha podido observar una gran variedad de geometrías y tipos de reductores de velocidad debido a ello se ha realizado un estudio en varios reductores de la ciudad para analizar su eficiencia en reducir la velocidad de los vehículos mediante la obtención de la velocidad de punto en un tramo previo al reductor y en un tramo que contiene al reductor con el objetivo de uniformizar las medidas geométricas del elemento.

Garnica V. Rodriguez C, y Rodriguez L. (2015), en su artículo publicado en Colombia, reúne posibles beneficios que se han estudiado a partir de los pavimentos en conjunto con otras estructuras o sistemas, donde no solo se disminuye las problemáticas de deformaciones, fisuras etc. sino que además se aprovechan las condiciones del entorno, con el fin de obtener un tipo de captación de energía sustentable.

La empresa estadounidense (2025) en su web, nos brinda las ventajas de la tecnología neumática aplicados a un mecanismo nivelador tipo muelle llamado Serie AP, este equipo utiliza un mecanismo de elevación por bolsa de aire, el cual presenta una amplia gama de tamaños en función a la capacidad requerida.

1.3.2. Antecedentes internacionales

Zevallos (2018), en su investigación utilizó una metodología mixta para cuantificar datos y determinar las dimensiones de un reductor de velocidad y su estructura. Dado que en determinadas zonas de Piura se carece de alumbrado público, calculó la distancia total para establecer la cantidad de luminarias necesarias y la energía eléctrica a generar, donde observó que existen diversas marcas de generadores con precios variables, pero que su rendimiento es similar, así mismo abordó el cálculo de los engranajes mediante una fórmula de transición correspondientes concluyendo que la implementación de este reductor no solo mejorará el alumbrado público sino que también contribuirá a la seguridad ciudadana y vial.

Quispe (2017), desarrolló un estudio y análisis de la generación de energía eléctrica a partir del paso de vehículos por un rompe muelle en la región Puno. Donde su objetivo es obtener la energía a partir del empleo de un multiplicador de velocidad, la inercia de un disco y un generador eléctrico porque existen en el país muchas estaciones de pesaje y de peaje que no cuentan con un suministro de energía eléctrica por lo que recurren al uso de sus propios grupos electrógenos, lo que significa un permanente consumo de combustible. Por eso propone que la energía potencial de un vehículo debido a su peso puede ser aprovechada a través de un mecanismo que la transforme en energía cinética y posteriormente a energía eléctrica.

Palma (2017) indica que en la empresa Camposol S. A, Trujillo, utiliza el aire comprimido en diversas áreas, incluyendo la conservación de espárragos (para el secado de latas y frascos de conservas), el sector de frutas frescas (donde actúa sobre pistones para el etiquetado) y en la producción de arándanos

(accionando los cilindros neumáticos de las máquinas llenadoras para vaciar el producto). Desde el año 2015, el área de calidad ha emitido repetidos informes sobre la contaminación por aceite en estas áreas. También se ha detectado un exceso de aceite en los cilindros neumáticos, lo que ha provocado fugas que entraron en contacto con los arándanos, a pesar de contar con unidades de mantenimiento. Estas situaciones han generado pérdidas económicas significativas para la empresa y retrasos en los pedidos. Por estas razones, Palma propone realizar un estudio del sistema de aire comprimido para identificar las correcciones necesarias y evitar la contaminación por aceite. En su análisis, concluyó que el consumo real de aire comprimido de la compañía es de 402.6 cfm (pies cúbicos por minuto). También examinó el diseño de las tuberías, considerando el tipo de material y la instalación, para minimizar los residuos de aceite. Aunque el aluminio es el material óptimo, debido a limitaciones de tiempo y costo, se decidió mantener el mismo material galvanizado que actualmente se utiliza. La instalación en anillo es la adecuada para este sistema.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un mecanismo mecánico, que permita generar aire comprimido a través de la energía cinética de desplazamiento de los vehículos ligeros.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Analizar el flujo de vehículos que transitan dentro de las instalaciones de la UNS (frente al comedor universitario) para la implementación de un mecanismo captador de aire

- b) Diseñar y dimensionar el sistema mecánico para la generación de aire comprimido.
- c) Seleccionar un recipiente a presión y sus accesorios complementarios.
- d) Simular el diseño realizado en un software especializado.

1.5. Formulación de la hipótesis

Mediante el diseño de un mecanismo mecánico podremos aprovechar la energía cinética del paso de vehículos ligeros para la acumulación de aire comprimido, obteniendo presiones de hasta 40 PSI dentro de un recipiente a presión.

1.6. Justificación

Este innovador proyecto nos brinda un nuevo enfoque para la obtención de aire comprimido por fuentes de energía no contaminantes, aprovechando la energía cinética del paso de vehículos ligeros. A su vez, este proyecto contribuye a la sostenibilidad energética brindando una reducción con la huella de carbono, mejorando la eficiencia energética para nuevas tecnologías y fomentando una economía circular.

1.6.1. Justificación tecnológica

La generación de aire comprimido es fundamental en diversas industrias, desde la manufactura hasta la minería, donde se utiliza en aplicaciones que van desde la automatización de procesos hasta el suministro de energía para herramientas neumáticas. Sin embargo, la producción convencional de aire comprimido conlleva un alto consumo energético y costos operativos significativos. Este proyecto propone una solución innovadora mediante un mecanismo mecánico que genera aire comprimido aprovechando la energía cinética de vehículos ligeros en movimiento, ofreciendo así una alternativa sostenible y económica.

Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental al promover el uso de energía renovable, sino que también disminuye la huella de carbono asociada al proceso de compresión de aire. Al utilizar un recurso tan abundante y accesible como el tráfico vehicular, se fomenta un uso más eficiente de los recursos energéticos en las áreas urbanas.

Al integrar tecnología mecatrónica en el diseño del sistema, se impulsa la innovación en el ámbito de la generación de energía. Este enfoque multidisciplinario optimiza el uso de energía y abre nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo en campos relacionados con la energía renovable y la movilidad urbana.

1.6.2. Justificación económica

La relevancia económica de este estudio radica en que la implementación de un sistema de aire comprimido proporcionará beneficios significativos para la población, permitiendo el acceso gratuito a este recurso, similar a los grifos de combustible. Este proyecto representa una alternativa sólida para las ciudades, al evaluar la capacidad energética de los vehículos en movimiento, lo que podría ofrecer una solución económica a gran escala para empresas que actualmente no cuentan con estaciones de aire comprimido.

La creación de estaciones de aire comprimido que utilicen este sistema permitirá ofrecer aire comprimido a bajo costo o incluso de forma gratuita para los usuarios. Esto no solo beneficia a las empresas que requieren aire comprimido en sus operaciones, sino que también puede proporcionar una ventaja competitiva significativa en el mercado.

1.6.3. Justificación social

Nuestra sociedad enfrenta desafíos e innovaciones cada vez más relevantes que impactan nuestro futuro colectivo. Uno de los principales retos es el uso eficiente y sostenible de los recursos. Se espera que el mecanismo mecánico propuesto sea un sistema más confiable y duradero, capaz de aprovechar el aire comprimido de manera efectiva para diversas aplicaciones en las empresas. Además, este sistema ofrecerá una fuente de energía que podrá utilizarse para la creación de estaciones de aire comprimido y la generación de energía eléctrica en áreas donde estos sistemas son inexistentes.

La instalación de mecanismos que generen aire comprimido en vías urbanas no solo contribuirá a la generación de este recurso, sino que también mejorará la seguridad vial al promover un diseño de infraestructura que reduzca la velocidad de los vehículos, beneficiando así a peatones y otros usuarios de la vía.

1.6.4. Justificación ambiental

La generación de aire comprimido mediante tecnologías que eviten el uso de combustibles fósiles representa una medida estratégica para mitigar el impacto ambiental de las operaciones industriales. Tradicionalmente, los sistemas de compresión alimentados por motores diésel o gasolina generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero (GEI), como CO₂, NO_x y partículas, contribuyendo al cambio climático, la acidificación y la contaminación atmosférica local.

El uso de un mecanismo alternativo, que aproveche la energía cinética de desplazamiento de vehículos ligeros elimina la quema directa de combustibles fósiles y, por tanto, reduce drásticamente la huella de carbono asociada al proceso.

1.7.Limitaciones del trabajo

- El funcionamiento del mecanismo fue diseñado para el tránsito de los vehículos que transiten en un solo sentido dentro de las instalaciones de la UNS.
- La velocidad de los vehículos para poder pasar el mecanismo debe estar entre los 5 – 10 km/h.

II. MARCO TEÓRICO

2.1.Marco Referencial

La generación de aire comprimido se realizará por medio de un mecanismo de captación, el cual aproveche el paso de vehículos livianos sobre un reductor de velocidad, para ello el mecanismo consta de un reductor de velocidad metálico, soportado a un sistema de resortes para su amortiguación, en su accionamiento el vehículo pasa por encima del reductor de velocidad, encogiendo los resortes y activando un mecanismo semejante a un inflador, lanzando un cantidad de aire a presión a para ser acumulados en un tanque pulmón.

Los componentes del mecanismo son:

2.1.1. Reductor de velocidad

De acuerdo con Andres G. y Juan V. (2013):

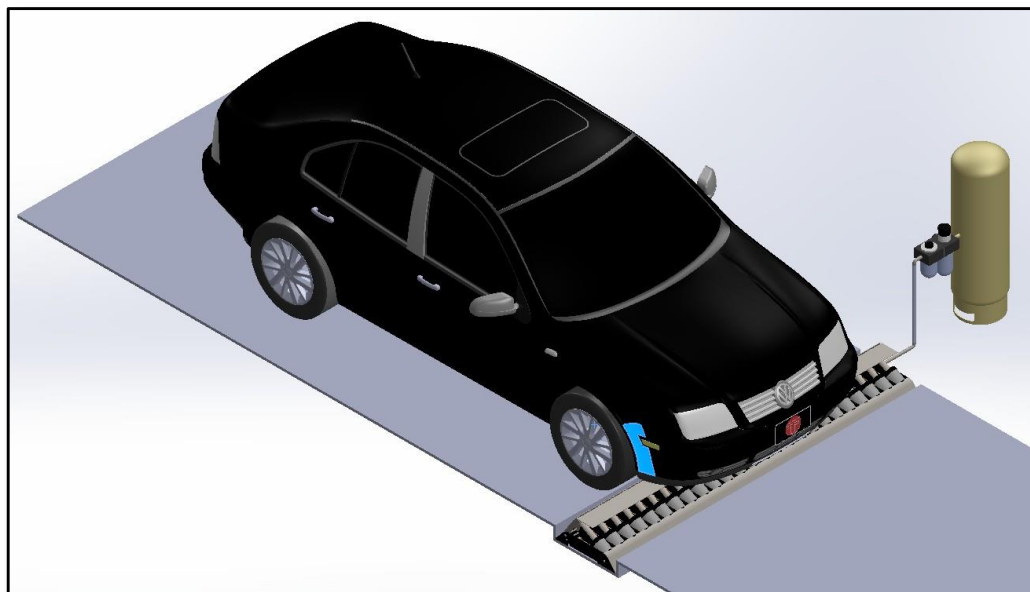
Es un dispositivo estructural fijo, que opera como reductor de velocidad, y que consiste en la elevación transversal de la calzada en una sección determinada de la vía. Su función es reducir la velocidad de operación de los vehículos motorizados, asegurando que circulen con una velocidad controlada, lo cual permitirá un tránsito vehicular más seguro.

El diseño del reductor de velocidad se asemejará a una rampa metálica, una rampa es un elemento que le permite conectar dos lugares a diferentes alturas. La rampa proporciona un camino descendente o ascendente para trasladarse de un lugar a otro a lo largo de su superficie. Cuando un vehículo pasa sobre la rampa, activa un mecanismo tipo pistón inyectando aire a presión a un circuito de acumulación de

este, enviando aire a presión a un tanque pulmón, tras el paso del vehículo, los resortes se expanden regresando a su estado inicial.

Figura 1

Rampa mecánica



Nota: Rampa de Acero Inoxidable. Fuente: Elaboración Propia

2.1.2. Resortes para el retorno de la rampa

Para el diseño del reductor de velocidad, se examinaron los diferentes tipos de resortes, según la carga que estos soportan pueden ser de compresión, de tracción, de torsión o de flexión, sin embargo, las condiciones de trabajo que se tiene se optan por resortes que trabajen a torsión.

Un resorte de torsión se trata de un muelle helicoidal que se enrolla en espiral y tiene sus extremos unidos a un punto fijo y a un punto giratorio. Cuando el punto giratorio se rota, el resorte se retuerce y almacena energía. Al liberar la fuerza giratoria, el resorte vuelve a su posición original y libera la energía almacenada.

Según la forma que estos posean se pueden clasificar en:

a) Resorte helicoidal de torsión

Este tipo de resorte se deforma cuando sus extremos son expuestos a un par de fuerzas que se encuentran perpendiculares a su eje. Se compone de un hilo de acero que se enrolla en forma de hélice cilíndrica con dos brazos extremos, que se deforman angularmente al ser sostenidos por los elementos que poseen el giro relativo.

Es posible distinguir dos clases de resortes, los resortes simples y los dobles. Los resortes de doble torsión se componen de secciones vinculadas de espiras, una a la derecha y otra a la izquierda, que operan en paralelo.

Figura 2

Resorte helicoidal de torsión simple y doble



Nota. Fuente Cálculo de resortes helicoidales de compresión. Tomado de Martínez (2013).

b) Resorte en espiral

Entre sus diferentes tipos tenemos: resortes de hilo (hairsprings), resortes de cepillo (brush springs), resortes de potencia o de reloj (power or clock springs) y por último los muelles de par constante

- El resorte de hilo, también llamado resorte regulador es un componente utilizado en la fabricación de dispositivos mecánicos para la medición de tiempo para controlar la frecuencia de oscilación del volante regulador.

Figura 3

Resorte de Hilo



Nota. Fuente Cálculo de resortes helicoidales de compresión. Tomado de Martínez (2013).

- El resorte de cepillo se empleó durante un largo periodo de tiempo para aplicar presión a las escobillas de carbón en los motores y generadores eléctricos

Figura 4

Resorte de cepillo



Nota. Fuente Cálculo de resortes helicoidales de compresión. Tomado de Martínez (2013).

- Los muelles de reloj o de potencia, también conocido como resorte motor, es una lámina de metal en forma de espiral que se enrolla en sí misma para almacenar energía mecánica, se fabrican con enrollado de cinco vueltas.

Figura 5

Resorte de potencia



Nota. Fuente Cálculo de resortes helicoidales de compresión. Tomado de Martínez (2013).

Se han seleccionado resortes de torsión Acxes Spring. Estos resortes están hechos de acero ASTM A229 y tienen un diámetro de alambre de 7 mm, un diámetro exterior de 35 mm, 8 espiras activas y una constante de 130.689,38 N mm/rad. En esta elección se tienen en cuenta las cargas que estarán presentes, así como la constante equivalente que permita a la rampa volver a su posición original. El sistema mecánico tiene 4 juegos de resortes, dispuestos en línea recta. Es importante señalar que los resortes soportan el

peso del vehículo para que los pistones de aire no fallen al bajar la carrera de 150 mm para devolver la rampa a su posición original.

2.1.3. Recipiente de presión

Un recipiente a presión es un recipiente sellado diseñado para contener un gas o líquido a una presión significativamente diferente de la presión atmosférica, tanto en el interior como en el exterior, independientemente de su forma y tamaño. En la tesis bridada por Figueroa L. (2024) nos menciona que:

Para el diseño de recipientes a presión se utiliza el código ASME sección VIII división 1, esta sección cuenta con dos divisiones. En primer lugar, la división 1 permite diseñar recipientes a presión bajo fórmulas tradicionales. En segundo lugar, la división 2 se basa en el diseño por análisis de esfuerzos combinados y en recipientes especiales que tengan una presión de diseño de 600 PSI a más.

Para el presente trabajo de investigación se usará el código ASME sección VIII división 1, ya que nos bridan las ecuaciones concretas para el diseño del tanque.

Figura 6

Recipiente a presión



Nota. Fuente: Recuperado de <https://www.electromecanico.co/producto/tanque-pulmon-sin-mesa-fabricacion-nacional/>

Los recipientes a presión tienen se pueden categorizar por su aplicación y por la forma del recipiente.

De acuerdo a su aplicación, los recipientes a presión pueden ser:

- **Recipientes de almacenamiento:** Son aquellos que sirven para el almacenaje de una determinada sustancia, Usualmente son utilizado para almacenar aire, agua, hidrocarburos líquidos, gases y entre otros.
- **Recipientes de procesos:** Son aquellos que cumple con la función de paso de una o más sustancias y reaccionan, directa o indirectamente, entra ambas. Los recipientes de proceso más conocidos son: reactores, torres de destilación, intercambiadores de calor, entre otros.

De acuerdo a su forma, los recipientes a presión pueden ser:

- **Recipientes esféricos:** Este tipo de recipientes tiene la característica de poder soportar altas presiones y almacenar grandes volúmenes. Se le brinda una forma esférica debido a que de esta forma distribuye uniformemente las tensiones bajo cargas internas, sin embargo, una de sus desventajas es que posee un costo elevado de fabricación.
- **Recipientes cilíndricos horizontales y verticales:** Este tipo de recipientes son los más comerciales, no ocupan grandes espacios debido a su forma cilíndrica, y están diseñados para soportar presiones moderadas. Tener en cuenta que las tapas de este tipo de recipientes a presión no son planas, tenemos diferentes tipos de en función al requerimiento de diseño.

Tabla 1*Materiales para fabricación de recipientes a presión*

Forma	Especificación		Aplicación
	Número	Grado	
Planchas	A-36	C	Para estructuras, en recipientes a presión puede usarse con limitaciones.
	SA-283	C	Para estructuras, en recipientes a presión puede usarse con limitaciones.
	SA-285	C	Calderas, estructuras y otros recipientes a presión
	SA-515	55	Para estructuras, en recipientes a presión puede usarse con limitaciones.
	SA-515	60	Principalmente para temperaturas de trabajo media y alta
	SA-515	65	Principalmente para temperaturas de trabajo media y alta
	SA-515	70	Principalmente para temperaturas de trabajo media y alta
	SA-516	65	Principalmente para temperaturas de trabajo moderadas y bajas
	SA-516	70	Principalmente para temperaturas de trabajo moderadas y bajas
	SA-53	B	Principalmente para temperaturas de trabajo altas
	SA-106	B	Principalmente para temperaturas de trabajo altas

Nota. Fuente Diseño y análisis de un recipiente vertical de 100 gal para almacenamiento de aire comprimido. Tomado de Figueroa L. (2024)

El comité recomienda del código para calderas y recipientes a presión, así como el estándar para construcción y código de inspección, A.W.S. (American Welding Society), Este código proporciona la información fundamental de soldadura, diseño de soldadura, calificación, pruebas e inspección de soldaduras, así como una Guía de la aplicación y uso de la soldadura, para estructuras. Y para el método de Soldadura. De acuerdo al mismo código por el método de soldadura tipo Arco se restringe a los siguientes procesos:

- SMAW (Shield Metal Arc Welding)- Soldadura de electrodo revestido.

- SAW (Submerged Arc Welding)- Soldadura de arco Sumergido
- GMAW. (Gas Metal Arc Welding). Soldadura de arco con protección de gas. Nota: el proceso FCAW (Flux Cored Arc Welding), Soldadura de electrodo tubular, es reconocido como una variedad del GMAW por lo tanto es aceptable.
- GTAW. (Gas Tungsten Arc Welding). Soldadura de electrodo de Tungsteno.

Para el presente trabajo el material seleccionado del tanque pulmón es un acero al carbono A-36.

2.1.4. Sistema neumático

Según, Pacheco et al. (2018). “Los sistemas neumáticos son sistemas que utilizan el aire u otro gas como medio para la transmisión de señales y/o potencia. Dentro del campo de la neumática la tecnología se ocupa, sobre todo, de la aplicación del aire comprimido en la automatización industrial”.

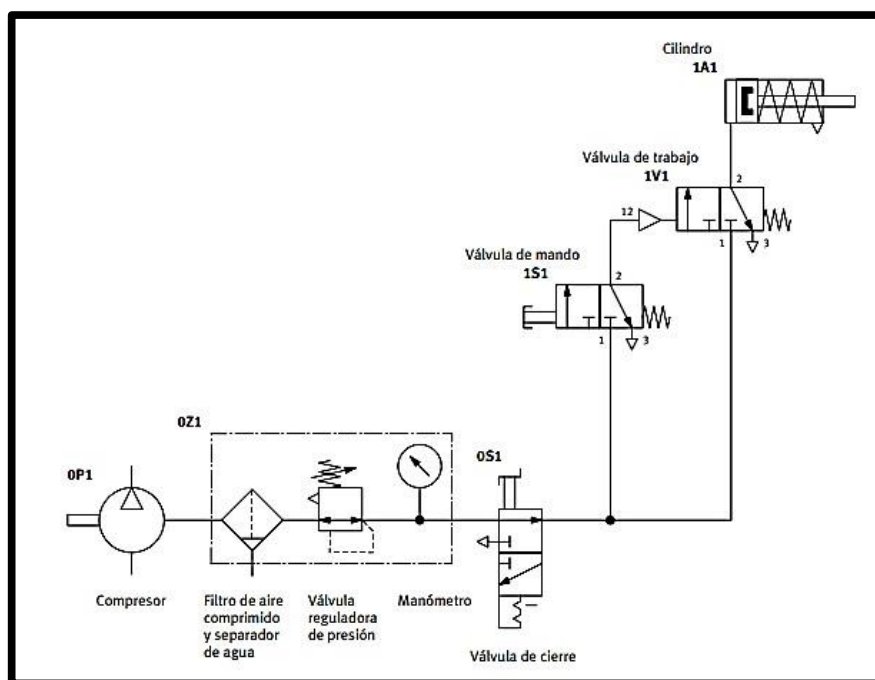
Los sistemas neumáticos son comúnmente utilizados en la automatización de máquinas y en el ámbito de los controladores automáticos. Los circuitos neumáticos, que transforman la energía del aire comprimido en energía mecánica, tienen un amplio rango de aplicaciones debido a la rápida respuesta de los actuadores y a la ausencia de necesidad de un circuito de retorno de aire.

En un circuito neumático típico, el aire comprimido es generado por un compresor y almacenado en un depósito. Desde el depósito, el aire pasa a través de una serie de componentes de acondicionamiento, como filtros, reguladores de

presión y lubricadores, que aseguran que el aire esté limpio, a la presión adecuada y lubricado para evitar el desgaste de los componentes.

Figura 7

Esquema de un Sistema Neumático



Nota. Fuente adaptado de Festo (2018).

2.1.5. Componentes del sistema neumático

Según, Pacheco (2018), “indica que los componentes más importantes de un sistema neumático son los siguientes:

- **Válvula de retención:** Conocidas también como válvulas check o válvulas uniflujo, permiten la entrada de aire presurizado en el sistema neumático, pero evita el reflujo (y la pérdida de presión) en el compresor cuando éste se detiene.
- **Acumulador:** Almacena el aire comprimido, evitando sobre presiones y aliviando el ciclo de trabajo del compresor.

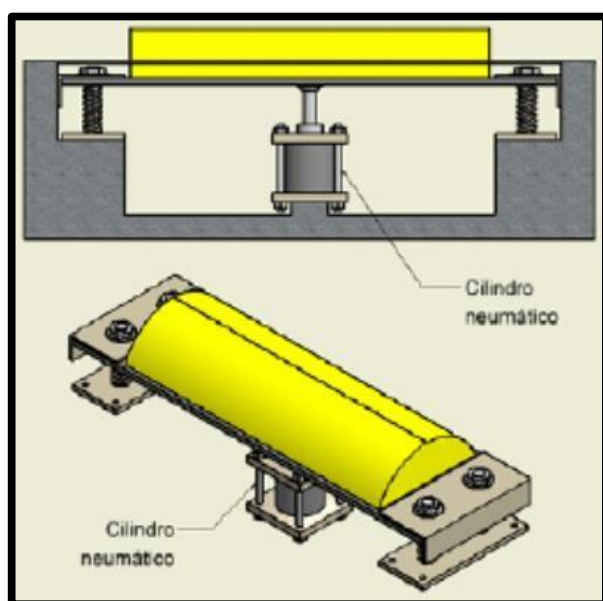
- Válvula direccional: Es un dispositivo que permite distribuir y redirigir el aire comprimido dentro de un circuito neumático.
- Actuador: Convierte la energía almacenada en el aire comprimido en movimiento mecánico. Las herramientas alternativas incluyen actuadores rotativos, herramientas de aire, vejigas de expansión, etc.

2.1.6. Generación de aire comprimido a través de un mecanismo

Para la generación de aire comprimido, el informe de Álvaro et al. (2013) nos brinda una alternativa para colección de aire comprimido, donde, “La energía del peso vehicular se almacena en forma de energía potencial por medio de aire comprimido dentro de un depósito”.

Figura 8

Mecanismo Acumulador de Aire Comprimido



Nota. Fuente Diseño conceptual de un generador de energía mediante reductores de velocidad vehicular: parte mecánica. Álvaro et al. (2013)

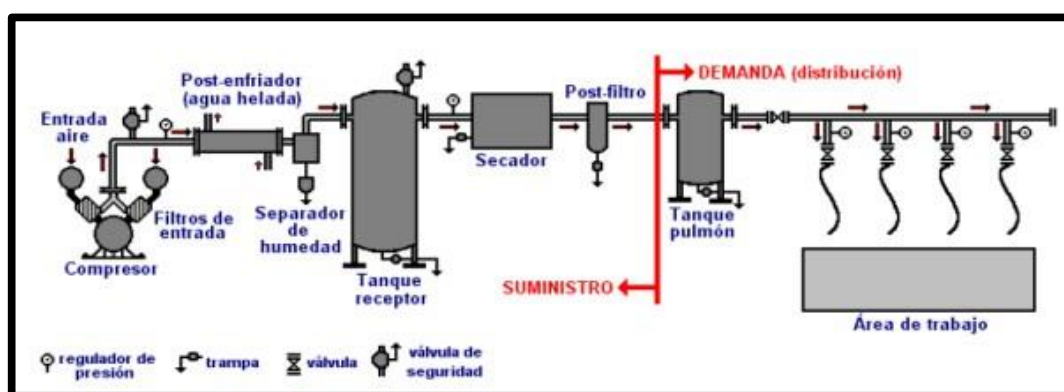
2.1.7. Depósito de aire comprimido

Corresponde a un componente clave que almacena el aire comprimido. Este depósito actúa como un amortiguador entre el dispositivo generador de aire y el sistema neumático; regulando la presión y asegurando un suministro constante de aire cuando se requiere. Además, ayuda a reducir el ciclo de encendido y apagado del compresor, prolongando la vida útil y mejorando la eficiencia del sistema. A la vez, permite la eliminación de condensado, evitando la entrada de humedad en el sistema, esencial para el aseguramiento de la integridad de los componentes neumáticos.

El sistema de aire comprimido garantiza el suministro del flujo adecuado a las presiones de trabajo necesarias para cada componente neumático instalado en cada punto de conexión, sin afectar el funcionamiento simultáneo de los dispositivos. En la figura 5, se presenta la configuración del sistema de aire comprimido, donde se identifican la configuración.

Figura 9

Esquema de depósito de aire y sus componentes



Nota. Recuperado de <https://mecanicaelectric.blogspot.com/2012/11/diagrama-de-instalacion-de-aire.html>

2.1.8. Filtros

El sistema de filtrado en un circuito neumático es esencial para garantizar que el aire comprimido que circula esté limpio y libre de contaminantes que podrían dañar los componentes del sistema. Este sistema suele estar compuesto por varios elementos de filtrado que trabajan en conjunto para eliminar partículas sólidas, humedad y aceite del aire comprimido.

El aire contiene impurezas que pueden dañar los equipos neumáticos, entre las cuales se encuentran el agua, el aceite, el polvo y la suciedad. Estos elementos interactúan con la instalación de aire comprimido, causando problemas operativos. La humedad y las impurezas del aire comprimido pueden ser eliminadas mediante dispositivos especiales. Los sistemas están equipados con secadores y filtros, los cuales se instalan inicialmente a la salida del depósito y luego en la salida de la tubería que suministra el aire a los componentes neumáticos. El agua suele condensarse en el tramo final, por lo que se dispone de un punto de purga.

Para el presente proyecto se seleccionó un AW20-D Filtro regulador de 1/4 in. Según los catálogos de selección de Unidades F.R.L. modulares de SMC (pag. 115)

Figura 10*Filtro de aire*

Nota. Recuperado de <https://www.smc.eu/es-pe/productos/aw20-d-a-aw60-d-filtro-regulador-filtro-regulador-con-funcion-de-flujo-inverso~166065~cfg>

2.1.9. Regulador de presión

Un regulador de presión en un sistema neumático es un dispositivo diseñado para mantener la presión del aire comprimido a un nivel constante y deseado, independientemente de las fluctuaciones de presión en la entrada del sistema o de los cambios en la demanda.

Figura 11*Regulador de presión de aire*

Nota. Recuperado de <https://www.smc.eu/es-pe/productos/ar20-d-a-ar60-d-regulador-y-regulador-con-funcion-de-flujo-inverso~166079~cfg>

El regulador de presión en un sistema neumático mantiene la presión de salida constante y deseada al ajustar el flujo de aire mediante una válvula controlada por un diafragma o pistón y un resorte calibrado. A medida que el aire comprimido entra al regulador, la válvula se abre o cierra para equilibrar la presión de salida. Algunos reguladores también tienen una función de escape que libera el exceso de presión, asegurando que el sistema opere de manera segura y eficiente. El aire regulado sale a una presión constante, listo para ser utilizado por los componentes del sistema neumático.

2.1.10. Válvulas

Las válvulas en los circuitos neumáticos son componentes esenciales que controlan la dirección, presión y flujo del aire comprimido dentro del sistema. Existen varios tipos de válvulas, cada una con funciones específicas:

- Válvulas reguladoras de presión: mantienen la presión del sistema dentro de un rango específico, protegiendo sus componentes de una sobrepresión.
- Válvulas de control de flujo: regulan la velocidad con la que el aire comprimido se mueve a través del circuito, influenciando directamente la velocidad de los actuadores. Son esenciales para aplicaciones donde el control preciso del movimiento es crucial
- Válvulas de escape rápido: Estas válvulas permiten una evacuación rápida para el aire comprimido hacia un actuador o parte del sistema, aumentando la velocidad de respuesta del actuador. Se aplican en trabajos donde se requieran movimientos rápidos o repetitivos.
- Válvulas antirretornos: conocidas como válvulas de retención o válvulas check, permiten que el aire fluya en una sola dirección, bloqueando el flujo en la

dirección opuesta. Estas válvulas son esenciales para prevenir un flujo de aire inverso dañe el sistema o interfiera con su funcionamiento.

Estas válvulas son cruciales para el funcionamiento seguro, eficiente y preciso de los sistemas neumáticos, asegurando que los actuadores respondan correctamente a las demandas del sistema. Los tipos de válvula se observa en la figura 8.

2.1.11. Dimensiones de las tuberías

Para determinar los diámetros de estas debería partirse del caudal circulante (Q), por la tubería y la velocidad teórica del aire comprimido (v).

Diámetro de tubería

$$D = \sqrt{\frac{4 * Qa}{v * 60 * \pi}} \quad (1)$$

Siendo:

Qa = caudal circulante (m³/s)

v = velocidad de aire comprimido (m/s)

D = diámetro de la tubería (m)

Caídas de presión

$$\Delta p = \frac{f * \rho * l * v^2}{2 * d} \quad (2)$$

Siendo:

Δp = Caída de presión (Pa)

f = Coeficiente de fricción

ρ = Densidad (kg/m³)

l = Longitud de la Tubería (m)

Figura 12

Mangueras de circuitos neumáticos



Nota. Recuperado de <https://tameson.es/pages/mangueras-y-tubos-neumaticos>

Para la selección de una manguera o tubo para un sistema neumático, es crucial considerar varios factores para asegurar su rendimiento y durabilidad. Primero, es importante establecer la presión máxima de operación del sistema, ya que las mangueras y tubos están calificados para diferentes presiones, al usar uno inadecuado puede llevar a fallos. También, es necesario tener en cuenta el rango de temperatura, ya que algunos materiales pueden volverse frágiles en temperaturas frías o deformarse bajo calor elevado. El entorno externo también influye, ya que la exposición a químicos, luz UV, abrasión y temperaturas extremas pueden afectar la vida útil y el rendimiento del componente.

En la elección entre mangueras y tubos, es apropiado considerar la flexibilidad, ya que las mangueras son generalmente más flexibles, siendo ideales para aplicaciones con partes móviles, por otro lado, los tubos suelen ser baratos. Es esencial, la verificación de la compatibilidad del material con los accesorios y

con el medio transportado, así como selección del tamaño adecuado en términos de diámetro interior y longitud para evitar caídas de presión innecesarias. Para aplicaciones especializadas, los fabricantes pueden ofrecer soluciones personalizadas, en relación a las normas y certificaciones necesarias, así como el factor de seguridad, que asegura la integridad del sistema bajo condiciones inesperadas (Festo, 2018).

Para el dimensionamiento de la tubería, se calcula la fricción empleando la ecuación siguiente:

Fricción del material

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log \left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (3)$$

Siendo:

ε_r = Rugosidad relativa (adimensional)

ε = Rugosidad absoluta (mm)

\varnothing = Diámetro interno de la tubería (mm)

f = Fricción del material (adimensional)

Re = Numero de Reynold (adimensional)

Con la fricción establecida, se calcula la caída de presión del sistema, utilizando la ecuación 3.

Continuando con el cálculo procederemos a dimensionar el espesor mínimo del tanque para que pueda resistir la presión de trabajo, mediante la ecuación 4, extraída de ASME BPVC Section VIII Div.1.

Ecuación de espesor de pared de recipientes a presión.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (4)$$

Donde:

S = Valor del esfuerzo del material[lb/in²]

E = Eficiencia de la junta de soldadura

R = Radio interior [in]

D = Diámetro interior [in]

t = Espesor de la pared [in]

C.A. = Margen de corrosión [in]

P = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida [lb/in²]

Luego, procederemos con el cálculo de la presión interna que tendrá el mecanismo, para ello primero aplicamos primero la ecuación 5, para hallar la fuerza a ejercer.

$$F = m * a \quad (5)$$

Donde:

F = Fuerza[N]

m = masa [kg]

a = aceleración [m/s²]

Luego aplicamos primero la ecuación 6, para hallar la presión interna.

$$P = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Donde:

$P = \text{Presión} \dots\dots\dots [\text{Pa}]$

$A = \text{Área} \dots\dots\dots [\text{m}^2]$

Por último, mediante la ecuación 7, hallamos el volumen de aire que se tendrá dentro del recipiente a presión.

$$V = \pi * r^2 * h \quad (7)$$

Siendo:

$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$

$r = \text{Radio del cilindro (m)}$

$h = \text{altura (m)}$

Una vez calculado el sistema, procedemos a calcular la cantidad de condensado que este tendrá. A continuación, se muestra un procedimiento para estimar la cantidad de agua que se condensa en un tanque cuando el aire (con cierta humedad) se comprime y/o se enfría.

Primero hallaremos la presión absoluta de entrada mediante la ecuación 8.

$$P_{i,abs} = P_i + P_{atm} \quad (8)$$

Luego calcularemos la presión parcial de vapor de agua de entrada mediante la ecuación 9.

$$P_{ipv,i} = \phi_i \times p_{sat} (25^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Luego calcularemos la humedad específica (o razón de humedad) W (kg de vapor de agua por kg de aire seco) mediante la ecuación 10.

$$P_W = 0,622/P_{\text{aire}} - P_v \quad (10)$$

Posteriormente usamos la ley de los gases ideales para hallar cuánta masa de aire hay dentro, mediante la ecuación 11.

$$P_{f, \text{abs}} \cdot V = m_{\text{aire}} \cdot R_{\text{esp}} \cdot T_f \quad (11)$$

A continuación, hallamos la cantidad de agua que podría haber contenido ese aire si no condensara, mediante la ecuación 12.

$$m_{\text{agua inicial}} = m_{\text{aire}} \times W_i \quad (12)$$

Como siguiente fórmula hallamos la humedad específica máxima a la condición final, mediante la ecuación 13.

$$m_{\text{agua final (vapor)}} = m_{\text{aire}} \times W_f \quad (13)$$

Por último, hallamos la cantidad de agua que se condensa, mediante la ecuación 14.

$$m_{\text{condensado}} = m_{\text{agua inicial}} - m_{\text{agua final (vapor)}} \quad (14)$$

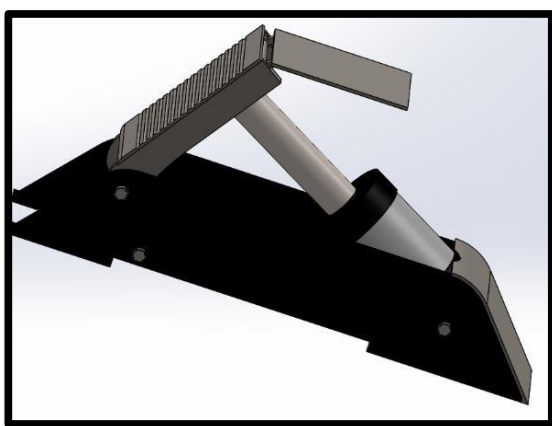
2.1.12. Mecanismos

Un mecanismo es conjuntos de piezas que, al recibir una energía mecánica, a través de un sistema de transmisión y transformación de movimientos, puede realizar un trabajo.

En el presente proyecto se utiliza la energía cinética del paso de vehículos sobre un reductor de velocidad, el cual esta soportado por medio de resortes amortiguadores, al hace el descenso, activará un mecanismo que envíe aire volumen de aire hacia un tanque pulmón.

Figura 13

Mecanismo de Compresión para Reductor de Velocidad



Nota. Mecanismo de 6 Eslabones. Fuente: Elaboración Propia

2.1.13. Grados de libertad

Un sistema mecánico puede clasificarse de acuerdo con el número de grados de libertad (GDL) que posee. El GDL de un sistema es el número de parámetros independientes (medidas) que se necesitan para definir unívocamente su posición en el espacio en cualquier instante. Este se define con respecto a un marco de referencia seleccionada

Los grados de libertad en un mecanismo son cruciales porque determinan la cantidad de movimientos independientes que puede realizar el sistema. Cada grado de libertad permite un tipo específico de movimiento, como traslación o rotación, y define cómo el mecanismo puede interactuar con su entorno o cumplir su función.

La correcta identificación y control de los grados de libertad es esencial para diseñar mecanismos que sean eficientes, precisos y adecuados para la tarea que deben realizar. En ingeniería, un manejo adecuado de los grados de libertad asegura que el mecanismo no sea ni demasiado complejo ni demasiado restringido, optimizando su rendimiento y funcionalidad en aplicaciones prácticas.

Cada cuerpo rígido tiene un número máximo de grados de libertad, dependiendo de si se encuentra en un plano (2D) o en el espacio tridimensional (3D):

- En 2D, un cuerpo rígido tiene 3 grados de libertad: dos traslaciones (X, Y) y una rotación (θ).
- En 3D, un cuerpo rígido tiene 6 grados de libertad: tres traslaciones (X, Y, Z) y tres rotaciones (θ_x , θ_y , θ_z).

Las articulaciones restringen los movimientos y, por lo tanto, reducen los grados de libertad del sistema. Algunas articulaciones comunes son:

- Pares rotacionales (como bisagras): restringen 2 movimientos en 2D y 5 en 3D.
- Pares prismáticos (como guías lineales): restringen 2 movimientos en 2D y 5 en 3D.
- Juntas esféricas: restringen 3 movimientos en 3D.

Para determinar el grado de libertad global de un mecanismo, es necesario tener en cuenta el número de eslabones y juntas, así como las interacciones entre ellos. La obtención de los grados de libertad (GDL) de un mecanismo implica el

hallazgo de los movimientos independientes a realizar. Este proceso se basa en el análisis de los enlaces y las uniones (o articulaciones) que conforman el mecanismo.

Ecuación 15: Ecuación de Gruebler

$$GDL = 3L - 2J - 3G \quad (15)$$

Siendo:

L = número de eslabones

J = número de juntas

G = número de eslabones fijados $G=1$ por tener un plano de sujeción.

Despejando la ecuación anterior:

Ecuación 16: Ecuación de Gruebler despejado

$$GDL = 3(L - 1) - 2J \quad (16)$$

Ecuación 17: Ecuación de Kutzbach

$$GDL = 3(L - 1) - 2J_1 - J_2 \quad (17)$$

J_1 = número de juntas completas

J_2 = número de semijuntas

Las semijuntas valen $\frac{1}{2}$ debido a que eliminan 1GDL

2.1.14. Tipos de mecanismos

El movimiento en los sistemas mecánicos es la base de su funcionamiento, y se manifiesta de diversas formas, como lineal, rotativo, oscilante o alternativo. Este movimiento es generado, transmitido y transformado mediante mecanismos que pueden alterar su dirección, velocidad, fuerza y naturaleza según las necesidades del sistema. La interacción entre componentes como engranajes, poleas, bielas, levas y tornillos permite que las fuerzas aplicadas se distribuyan y controlen para realizar tareas específicas, desde el desplazamiento de un objeto hasta la activación de un proceso complejo. En esencia, el movimiento en los sistemas mecánicos es la interacción dinámica de elementos que trabajan en conjunto para lograr un objetivo funcional. En la figura 12, se evidencia la interacción.

Figura 14

Movimiento para Mecanismo Mecánico



Nota. Elaboración Propia

Para la operación de los diferentes componentes en los equipos, se distinguen los siguientes mecanismos:

a) Mecanismos de transmisión lineal:

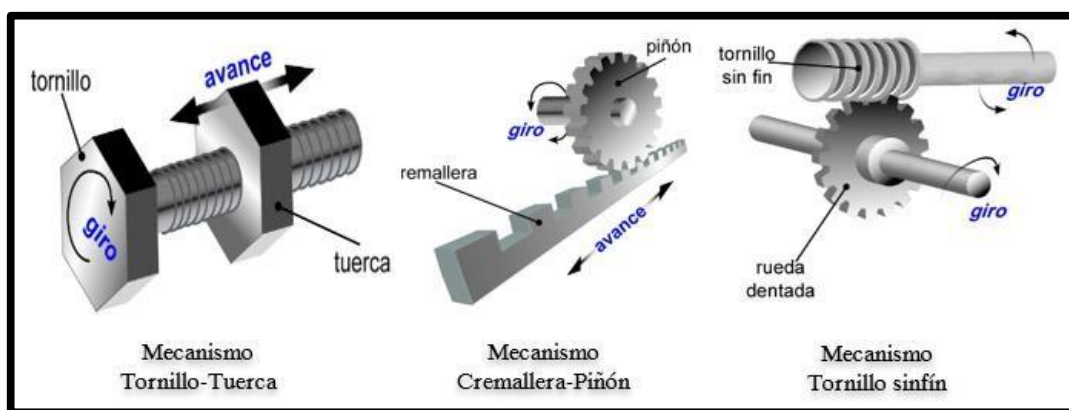
Tornillo y tuerca: Este mecanismo convierte el movimiento rotativo en lineal. Al girar el tornillo, la tuerca avanza o retrocede a lo largo de la rosca.

Cremallera y piñón: Consiste en un engranaje (piñón) que se engrana con una barra dentada (cremallera). Al girar el piñón, la cremallera se desplaza linealmente.

Tornillo sinfín: mecanismo, se consigue transmitir fuerza y movimiento entre dos ejes perpendiculares. Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, la corona que tiene unida avanza un número de dientes igual al número de entradas del sinfín.

Figura 15

Mecanismos de Transmisión Lineal



Nota. Recuperado de

https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947673/54_tornillotuerca.html

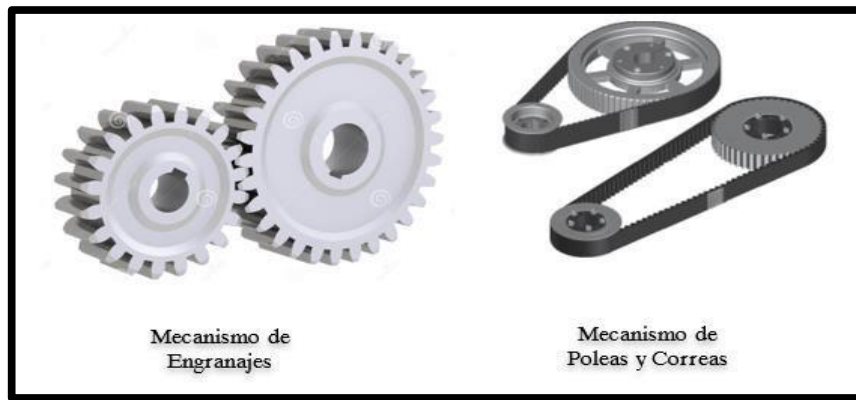
b) Mecanismos de transmisión circular:

Engranajes: Son ruedas dentadas que transmiten movimiento y potencia entre ejes a través de sus dientes. Pueden cambiar la dirección, velocidad o fuerza del movimiento.

Poleas y correas: Utilizan ruedas (poleas) conectadas por una correa para transmitir movimiento rotativo entre ejes separados. La relación de velocidad depende del tamaño de las poleas.

Figura 16

Mecanismos de Transmisión Circular



Nota. Recuperado de
<https://tecnoelectromecanica.blogspot.com/2011/05/transmision-por-correas-dentadas-de.html>

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

- Para la construcción del sistema generador de aire comprimido mediante un mecanismo mecánico, se utilizaron materiales seleccionados según su resistencia, disponibilidad y cumplimiento de normas internacionales. El sistema está conformado por una rampa metálica, resortes de torsión, cilindros neumáticos, válvulas de control, un tanque pulmón, tuberías y componentes de filtrado y regulación.
- El tanque pulmón se fabricó en acero al carbono ASTM A36, con un espesor mínimo de 4.5 mm calculado de acuerdo con el código ASME Sección VIII, División 1. Este material fue seleccionado por su excelente resistencia mecánica, soldabilidad y bajo costo. Las uniones soldadas se realizaron mediante el proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding), conforme a la norma AWS D1.1. Las conexiones roscadas, válvulas y accesorios se instalaron bajo las recomendaciones del código ASME B31.3 (Process Piping).
- Los resortes utilizados fueron de torsión tipo Acxes Spring, fabricados con acero ASTM A229, con diámetro de alambre de 7 mm, diámetro exterior de 35 mm, 8 espiras activas y una constante de 130.689 N·mm/rad. Estos elementos devuelven la rampa a su posición original luego del paso del vehículo. El Sistema neumático incluyó válvulas, filtros y reguladores de presión SMC modelo AW20-D, con rosca de 1/4 in, según la norma ISO 8573-1 que establece la pureza del aire comprimido.

3.2. Métodos

Para el diseño del mecanismo se utilizó una metodología cuantitativa, en la cual utilizando el peso de los vehículos ligeros tendremos que:

- Determinar los parámetros para el diseño del mecanismo mecánico
- Elaborar el diseño mecánico del mecanismo y tanque de almacenamiento mediante manuales y estándares de diseño.
- Diseño computacional para la base del mecanismo.
- Realizar la selección de los componentes auxiliares para un correcto funcionamiento del sistema de aire comprimido.

El procedimiento de construcción del sistema se dividió en cuatro etapas principales: diseño mecánico, fabricación estructural, integración neumática y pruebas de funcionamiento. A continuación, se describen los pasos desarrollados.

- 1) Corte y rolado del tanque: Se cortó la plancha ASTM A36 de 4.5 mm de espesor y se roló hasta obtener un diámetro interno de 350 mm y una altura total de 1158 mm.
- 2) Soldadura de costura: Se realizó con proceso GMAW (ER70S-6) bajo gas protector Ar/CO₂. Las soldaduras fueron inspeccionadas visualmente y mediante prueba de fugas.
- 3) Instalación de tapas hemisféricas: Las tapas se fabricaron por conformado en frío y se soldaron con doble cordón continuo.
- 4) Montaje de válvulas y accesorios: Se instalaron válvulas de seguridad, manómetro, válvula de purga inferior y conexión de entrada-salida conforme al código ASME B31.3.
- 5) Pintura y protección anticorrosiva: Se aplicó granallado y pintura epóxica industrial, asegurando resistencia a la intemperie y al aceite.

La normativa utilizada será:

ASME BPVC Sec. VIII Div.: aplicada para recipientes a presión, se usará para el cálculo y diseño del tanque pulmón.

AWS D1.1: Código de soldadura estructural, se usará para procedimiento de soldadura GMAW.

ASME B31.3: Código de tuberías de proceso se usará para conexiones y válvulas neumáticas.

ASTM A36: Especificación de acero al carbono, se usará como material base del tanque.

ASTM A229: Acero templado para resortes se usará para fabricación de resortes de torsión.

ISO 8573-1: Calidad del aire comprimido se usará para filtrado y pureza del aire.

EN 837-1: Manómetros y presión se usará para selección de instrumentación de medición

3.3. Metodología

Para el diseño del mecanismo la metodología utilizada fue:

- Identificar las condiciones de trabajo.
- Identificación de variables de operación.
- Recopilación de datos del flujo vehicular.
- Cálculos teóricos de la cantidad de aire recolectada.
- Modelado y dimensionamiento de mecanismo generador de aire.
- Simulación de esfuerzos de mecanismo generador de aire comprimido.
- Selección de componentes y materiales.
- Elaboración de planos de mecanismo.
- Elaboración de informe final.

3.4. Identificación de variables

- Variable dependiente: Generación de aire comprimido, mediante un mecanismo mecánico.
- Variable independiente: Energía cinética de desplazamiento de los vehículos ligeros.

3.5. Matriz operacional

Tabla 2

Operacionalización de la variable independiente

Variable independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumentos
Energía cinética de desplazamiento de los vehículos ligeros	Es la energía que se crea cuando un vehículo tiende a desplazarse	Vehículos ligeros que transitan en la ciudad.	Peso del vehículo (kg).	kg	Fichas técnicas
			Presión	bar	Manómetros
			Mecanismo	-	Software SolidWorks

Nota: Elaboración Propia

Tabla 3

Operacionalización de la variable dependiente

Variable independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumentos
Generación de aire comprimido, mediante un mecanismo mecánico	Es el aire creado cuando los vehículos pasan por el mecanismo mecánico	Vehículos ligeros que transitan en la ciudad.	Tiempo	h	Encuesta
			Peso del vehículo	kg	Fichas técnicas

Nota: Elaboración Propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados

4.1.1 Se identificó un espacio idóneo dentro de las instalaciones de la UNS donde el prototipo puede ser implementado, teniendo las pistas frente al taller de maestranza como lugar idóneo. El análisis realizado del flujo de vehículos que transitan en esa zona se muestra en la tabla 4. Como se puede observar la cantidad de autos varía los fines de semana ya que son pocos los que circulan, pero en fechas cuando el CEPUNS están dictando clases el flujo de vehículos aumenta y durante esa temporada a esa hora el flujo es constante. Con la data obtenida, se realizó el análisis de flujo vehicular como se muestra en la figura 22, el cual revela el comportamiento promedio del tránsito de los carros, siendo este del 13.5 carros por hora.

Tabla 4

Datos de vehículos que circulan por vía de CEPUNS tomados durante el mes de junio del 2024

Item	Descripción	Fecha	Hora	Cantidad	Tiempo para cruzar el rompe muelle
1	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	17/06/2024	10:30	20	8 segundos
2	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	18/06/2024	10:30	17	9 segundos
3	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	19/06/2024	10:30	19	8 segundos
4	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	22/06/2024	18:30	4	9 segundos
5	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	23/06/2024	09:00	3	10 segundos
6	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	4/11/2024	07:30	15	7 segundos
7	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	4/11/2024	13:00	16	8 segundos
8	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	4/11/2024	20:00	12	7 segundos

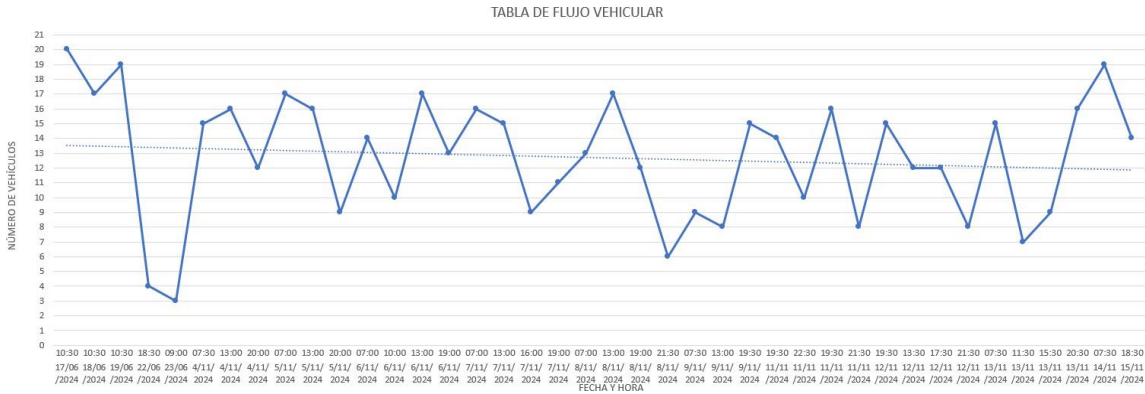
9	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	5/11/2024	07:00	17	8 segundos
10	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	5/11/2024	13:00	16	7 segundos
11	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	5/11/2024	20:00	9	7 segundos
12	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	6/11/2024	07:00	14	6 segundos
13	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	6/11/2024	10:00	10	7 segundos
14	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	6/11/2024	13:00	17	9 segundos
15	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	6/11/2024	19:00	13	10 segundos
16	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	7/11/2024	07:00	16	8 segundos
17	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	7/11/2024	13:00	15	10 segundos
18	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	7/11/2024	16:00	9	8 segundos
19	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	7/11/2024	19:00	11	9 segundos
20	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	8/11/2024	07:00	13	6 segundos
21	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	8/11/2024	13:00	17	10 segundos
22	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	8/11/2024	19:00	12	8 segundos
23	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	8/11/2024	21:30	6	7 segundos
24	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	9/11/2024	07:30	9	8 segundos
25	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	9/11/2024	13:00	8	10 segundos
26	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	9/11/2024	19:30	15	10 segundos
27	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	11/11/2024	19:30	14	8 segundos
28	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	11/11/2024	22:30	10	8 segundos
29	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	11/11/2024	19:30	16	7 segundos
30	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	11/11/2024	21:30	8	10 segundos
31	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	12/11/2024	19:30	15	6 segundos
32	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	12/11/2024	13:30	12	10 segundos
33	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	12/11/2024	17:30	12	10 segundos
34	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	12/11/2024	21:30	8	10 segundos
35	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	13/11/2024	07:30	15	8 segundos

36	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	13/11/2024	11:30	7	8 segundos
37	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	13/11/2024	15:30	9	10 segundos
38	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	13/11/2024	20:30	16	8 segundos
39	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	14/11/2024	07:30	19	7 segundos
40	Conteo de vehículos livianos marca nissan, toyota, kia, etc	15/11/2024	18:30	14	10 segundos

Nota: Elaboración Propia

Figura 17

Flujo vehicular dentro de la UNS



Nota. Data tomada dentro de instalaciones de la UNS. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5

Resumen estadístico

Métrica	Cantidad de vehículos	Tiempo de cruce (seg)
Promedio	12.7	8.75
Desviación estándar	4.18	1.31
Mínimo	3	6
Perceptil 25%	9	7
Mediana 50%	13.5	8
Perceptil 75%	16	10
Máximo	20	10

Nota: Elaboración Propia

Tabla 6*Distribución de cruce*

Tiempo de cruce (seg)	Frecuencia
6	3
7	8
8	13
9	4
10	12

Nota: Elaboración Propia**Tabla 7***Promedio de cantidad de vehículos por hora del día*

Hora	Promedio de vehículos
07:00	15.0
07:30	14.5
09:00	3.0
10:00	10.0
10:30	18.7
11:30	7.0
13:00	14.8
13:30	12.0
15:30	9.0
16:00	9.0
17:30	12.0
18:30	9.0
19:00	12.0
19:30	15.0
20:00	10.5
20:30	16.0
21:30	7.3
22:30	10.0

Nota: Elaboración Propia

- 4.1.2 Para el diseño del mecanismo, primero se hizo una recolección de datos de los vehículos que transitan dentro de la UNS, como se podrá observar en el anexo 2 – figura 28, dándonos una altura máxima de 190 mm que requiere el mecanismo, luego se pasó a diseñar el mecanismo mediante el software SolidWorks, para ello se dibujó un mecanismo que consta de un reductor de velocidad metálico, el cual va soportado mediante un sistema de resortes para su amortiguación, en su accionamiento el vehículo pasa por encima del reductor de velocidad, encogiéndose los resortes y activando un mecanismo semejante a un inflador, lanzando una cantidad de aire a presión a para acumularse en un tanque pulmón. (Ver Anexo 1 y 2)
- 4.1.3 Se seleccionó el recipiente a presión utilizamos los catálogos de la empresa Kaeser Compresores, con el cual seleccionamos un tanque pulmón de 90 l, el cual tiene un rango de presión de trabajo entre 0 - 160 PSIG, cuenta con una altura de 1158 mm y un diámetro de 350 mm, para asegurarnos que este tanque cuente con un espesor adecuado hallamos un espesor mínimo de fabricación de 4.5 mm. Para la selección de los sistemas neumáticos por medio de las tablas de SMC seleccionamos un filtro regulador AW20-D Filtro regulador de 1/4 in. El cual fue seleccionado mediante los catálogos de SMC. (Ver Anexo 3)
- 4.1.4 El análisis computacional realizado mediante el software SolidWorks, nos brindó un factor de seguridad de 2.341 para el sistema y una tensión máxima de 7.11 ksi.

4.2. Discusión

- 4.2.1. Análisis del flujo vehicular (Objetivo a).

En coherencia con el objetivo a, que consiste en analizar el flujo de vehículos que transitan dentro de las instalaciones de la UNS para la implementación de un mecanismo captador de aire, se realizó un estudio similar al desarrollado por Quizpe J. (2017), quien analizó la recolección de energía cinética generada por vehículos al pasar sobre un rompemuelleres.

Siguiendo esta metodología, se efectuó la toma de datos del flujo vehicular frente al comedor universitario, evaluando la cantidad de vehículos por hora y el comportamiento del tráfico. Este análisis permitió determinar un punto estratégico para instalar el mecanismo generador sin causar interrupciones en la circulación.

Como resultado, se identificó que el lugar idóneo es la zona frente al taller de maestranza, ya que registra un flujo promedio de 13.5 vehículos por hora, cantidad suficiente para producir energía sin ocasionar congestión vehicular

4.2.2. Diseño y dimensionamiento del sistema mecánico (Objetivo b)

Con respecto al objetivo b, orientado a diseñar y dimensionar el sistema mecánico encargado de la generación de aire comprimido, se tomó como referencia el trabajo de Álvaro et al. (2013), titulado “Diseño conceptual de un generador de energía mediante reductores de velocidad vehicular”.

Dicho informe presenta diferentes alternativas de mecanismos basados en resortes y sistemas mecánicos de absorción de impactos que permiten transformar la fuerza ejercida por el vehículo en energía mecánica útil para comprimir aire.

Entre las opciones planteadas, se identificó un mecanismo similar al propuesto en este proyecto, empleando un sistema soportado en resortes que garantiza la

eficiencia en la transferencia de energía. Esto permitió validar la viabilidad del mecanismo diseñado y dimensionado para este estudio.

4.2.3. Selección del recipiente a presión y accesorios (Objetivo c)

En cumplimiento del objetivo c, orientado a seleccionar un recipiente a presión y los accesorios complementarios adecuados, se recurrió a la información técnica proporcionada por el catálogo de Kaeser Compresores.

Mediante el análisis de las fichas técnicas se seleccionó un recipiente capaz de soportar adecuadamente la presión generada por el paso de vehículos sobre el mecanismo.

De igual forma, los accesorios como el filtro y el regulador de aire fueron seleccionados utilizando las especificaciones de SMC, garantizando así una correcta regulación y una presión estable del aire comprimido antes de ser utilizado o almacenado.

Este proceso aseguró que cada componente del sistema cumpla con las exigencias de seguridad y operatividad.

4.2.4. Simulación del sistema mecánico diseñado (Objetivo d)

Finalmente, alineado con el objetivo d, que consiste en simular el diseño del sistema mediante un software especializado, se procedió a elaborar un prototipo experimental basado en los resultados de los objetivos anteriores.

El prototipo fue modelado y sometido a simulación en SolidWorks, evaluando esfuerzos, tensiones y el comportamiento estructural del mecanismo ante cargas equivalentes al paso de un vehículo.

Los resultados obtenidos fueron favorables, mostrando un factor de seguridad de 2.341 y una tensión máxima de 7.11 ksi, lo cual confirma que el diseño es estructuralmente seguro y funcional para las condiciones de operación previstas.

V. CONCLUSIONES

- 5.1. Se llegó a la conclusión de que las pistas de la UNS son idóneas para instalación del prototipo debido a que no presentan ningún inconveniente con el tránsito de vehículos. El análisis fue realizado hallando que el flujo de vehicular en esta zona tiene un promedio de 13.5 vehículos por hora, y con un tiempo promedio de pase de rompemuelles de 8.3 segundos.
- 5.2. Mediante el software SolidWorks se diseñó y dimensionó un mecanismo tipo rampa, el cual logró aprovechar la energía cinética del paso de vehículos livianos para la obtención de aire comprimido.
- 5.3. Se logró seleccionar el tanque pulmón mediante los catálogos de Kaeser Compresores, este tanque pulmón logró tener una capacidad de 90 l, un rango de presión de trabajo entre 0 - 160 PSIG, una altura de 1158 mm y un diámetro de 350 mm. A su vez, se realizó la selección de un filtro regulador AW20-D de 0.25 pulgadas a través de los catálogos de la empresa SMC.
- 5.4. Se realizó una simulación mediante un análisis computacional con ayuda del software SolidWorks, el cual nos dio de resultados favorables, obteniendo un factor de seguridad de 2.341 y una tensión máxima de 7.11 ksi.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Para un óptimo diseño es importante ver el tipo de material del mecanismo tipo rampa para evitar gastos excesivos en instalación y mantenimiento.
- 6.2. Considerar los volúmenes de los tanques es importante antes de la instalación para no obstruir el paso en las instalaciones aledañas

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvaro R., Alejandro M., Raul A., Ramón C., Karla C., Carlos A. (2013) “Diseño conceptual de un generador de energía mediante reductores de velocidad vehicular: parte mecánica” Instituto Tecnológico de Celaya – Mexico.
- Andrés Galán y Juan V. “*Estudio de los reductores de velocidad en las zonas urbanas y rurales de la ciudad de cuenca, provincia del Azuay*”. Cuenca – Ecuador.
- Dajes, L. (2014). “*Generación de energía eléctrica a partir del paso de vehículos por un reductor de velocidad de sección trapezoidal ("rompemuelle")*.”. (Tesis para optar el título de ingeniero mecánico Mecatrónico). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Festo. (2018). Manual de entrenamiento de la técnica de Neumática. US
- Figuerola L. (2024) “*Diseño y análisis de un recipiente vertical de 100 gal para almacenamiento de aire comprimido*”. Lima – Perú.
- Galán A. y Vélez J. (2013). “*Estudio de los reductores de velocidad en las zonas urbanas y rurales de la ciudad de cuenca Azuay*”. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Garnica V. Rodriguez C, y Rodriguez L. (2015). “*Energía Renovable a partir de un pavimento flexible. Asfaltos y pavimentos*”. (Artículo científico). Colombia.
- Henao C., Vega D., y Alvarez J. (2016). “*Sistema mecánico para la generación de electricidad por medio del desplazamiento vehicular*”. (Tesis para optar el título de ingeniero mecánico Mecánico). Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia.
- Martínez, E. (2013). “Cálculo de resortes helicoidales a compresión”. Universidad politécnica de Cartagena –Cartagena

- Pacheco H., Linares C., Castro J., Casallas E. (2019) “Principios de funcionamiento de sistemas neumáticos” Universidad ECCI - Colombia
- Palma, J. (2017). “*Rediseño del sistema de aire comprimido para evitar residuos de aceite en la empresa Camposol S.A.*”. (Tesis para optar el título de ingeniero mecánico Mecánico). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.
- Quispe, C. (2017). “*Estudio y análisis de la generación de energía eléctrica a partir del paso de vehículos por un rompemueller en la región puno.*”. (Tesis para optar el título de ingeniero mecánico Electricista). Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú.
- Zevallos, R. (2018). *Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca – 2017.* (Tesis de posgrado). Universidad César Vallejo, Lima; Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del prototipo experimental

Al tener un prototipo experimental del mecanismo, se identificó como área idónea el interior de las instalaciones de la Universidad Nacional del Santa (UNS), frente a la maestría de la escuela de ingeniería mecánica, debido a que tenemos un desarrollo experimental del mecanismo primero se implantaría en instalaciones internas, se adjuntan figura de referencia.

Figura 18

Lugar de Instalación del Circuito Colector de Aire para Una Sola Vía de Tránsito



Nota. Fuente: Elaboración Propia

Al hacer un conteo de los vehículos por hora que transitan en esta zona, tendremos promedio de 13 vehículos por hora. Tomaremos ese dato para calcular la cantidad de aire acumulado por hora.

$$V_{\text{total}} = V * N_{\text{carros}}$$

$$V_{\text{total}} = 0.0146 \text{ m}^3 * 13$$

$$V_{\text{total}} = 0.1898 \text{ m}^3$$

Como podremos observar, al tener un tanque de 90L, equivalente a 0.09 m^3 , tendremos que colocar un sensor de alivio para no excedernos de la presión de

operación, con un volumen de 0.09m^3 , solo se requeriría de un total de 6 vehículos para llenar el tanque pulmón, teniendo en consideración que se está comprando el tanque pulmón con menor capacidad para aliviar costos.

Anexo 2. Diseño de mecanismo

Para el diseño del mecanismo se tomó la data de altura de los vehículos en tránsito en 3 puntos, como se ve en la figura 23:

Figura 19

Toma de Medidas de Vehículo en 3 Puntos



Nota. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la tabla 8 se muestra un resumen de las medidas para cada punto.

Tabla 8

Datos de toma de medidas de diferente vehículo en 3 puntos

Marca	Tipo de vehículo			
	Kia Rio	Nissan	Chevrolet Makine	Tico
Imagen referencial				
Parte Inicial	20 cm	28 cm	34 cm	27 cm
Parte Media	19 cm	25 cm	32 cm	24 cm
Parte Final	23 cm	28 cm	35 cm	28 cm

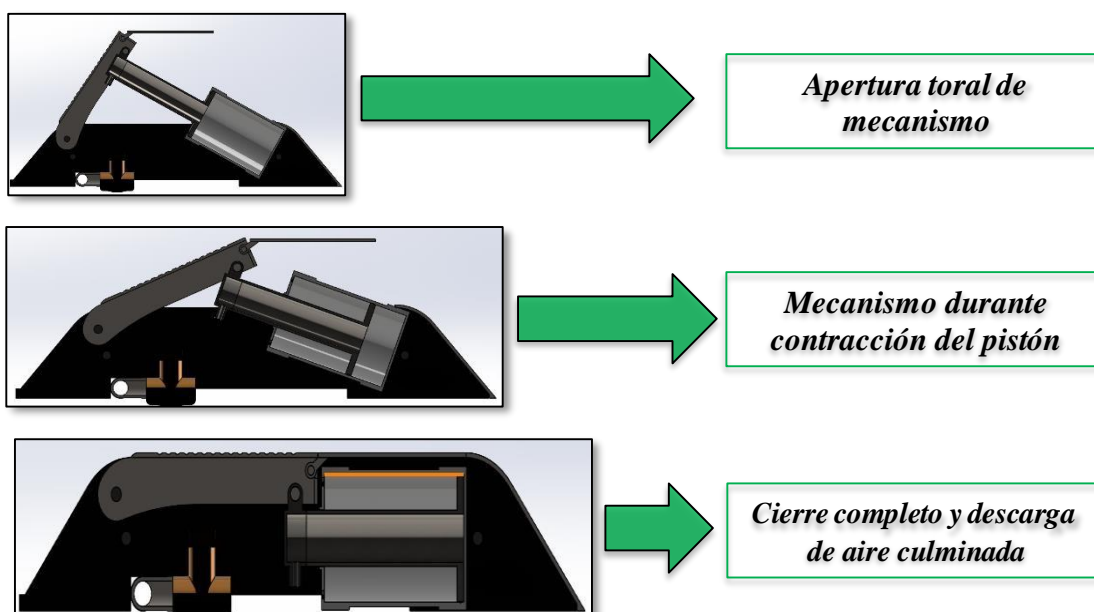
Nota: Elaboración Propia

Al hacer la medición de las alturas en los distintos puntos de diferentes vehículos livianos, determinamos que la parte más baja de los carros es la parte media, de los cuales el valor más bajo le pertenece al Kia Rios, en base a esa altura determinada se realizó el diseño del mecanismo.

En la figura 24, vemos una vista de sección del mecanismo al estar al abierto en su totalidad, luego al bajar empuja el aire para ser evacuado del pistón hasta estar totalmente cerrado.

Figura 20

Facetas de mecanismo colector de aire

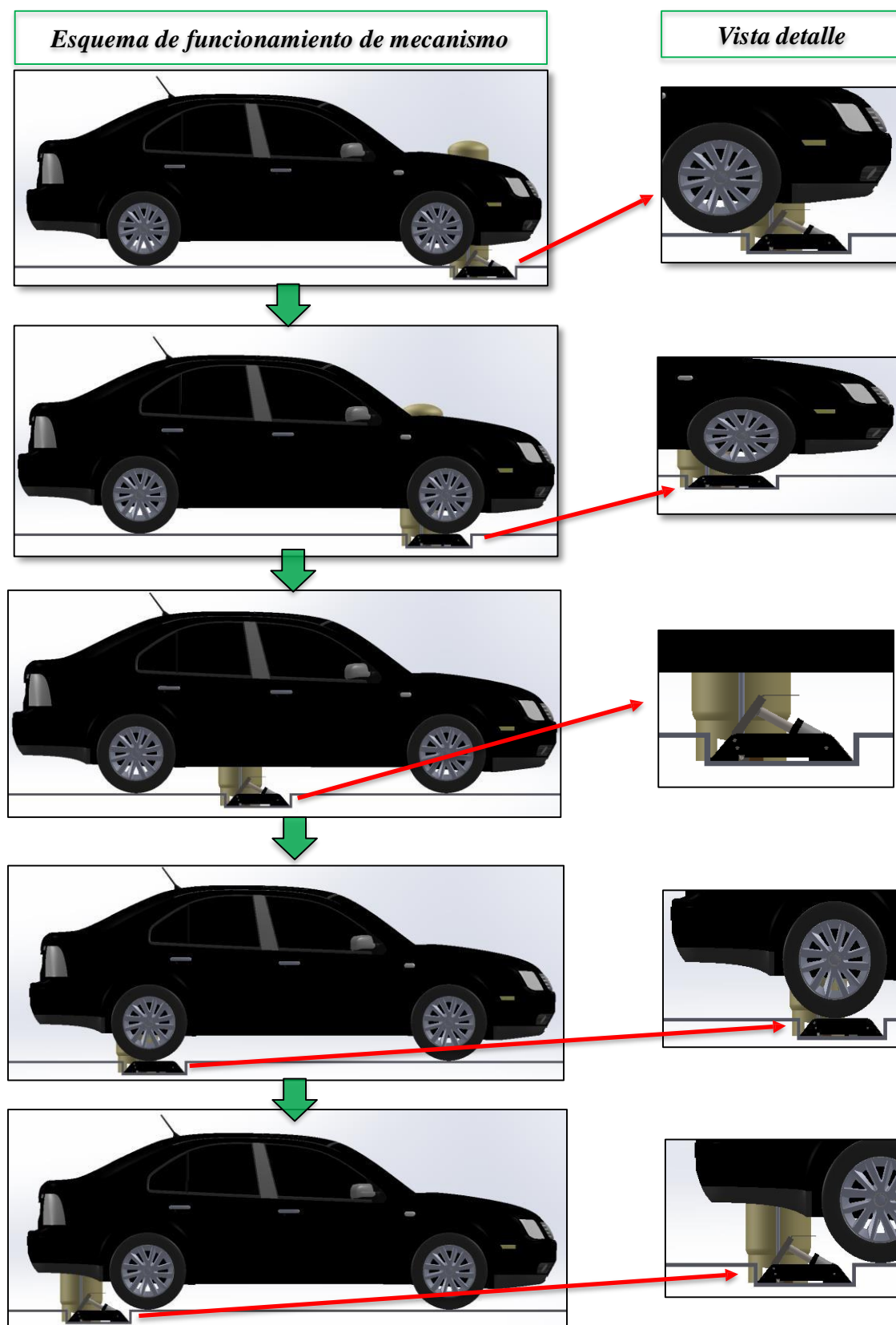


Nota. Fuente: Elaboración propia

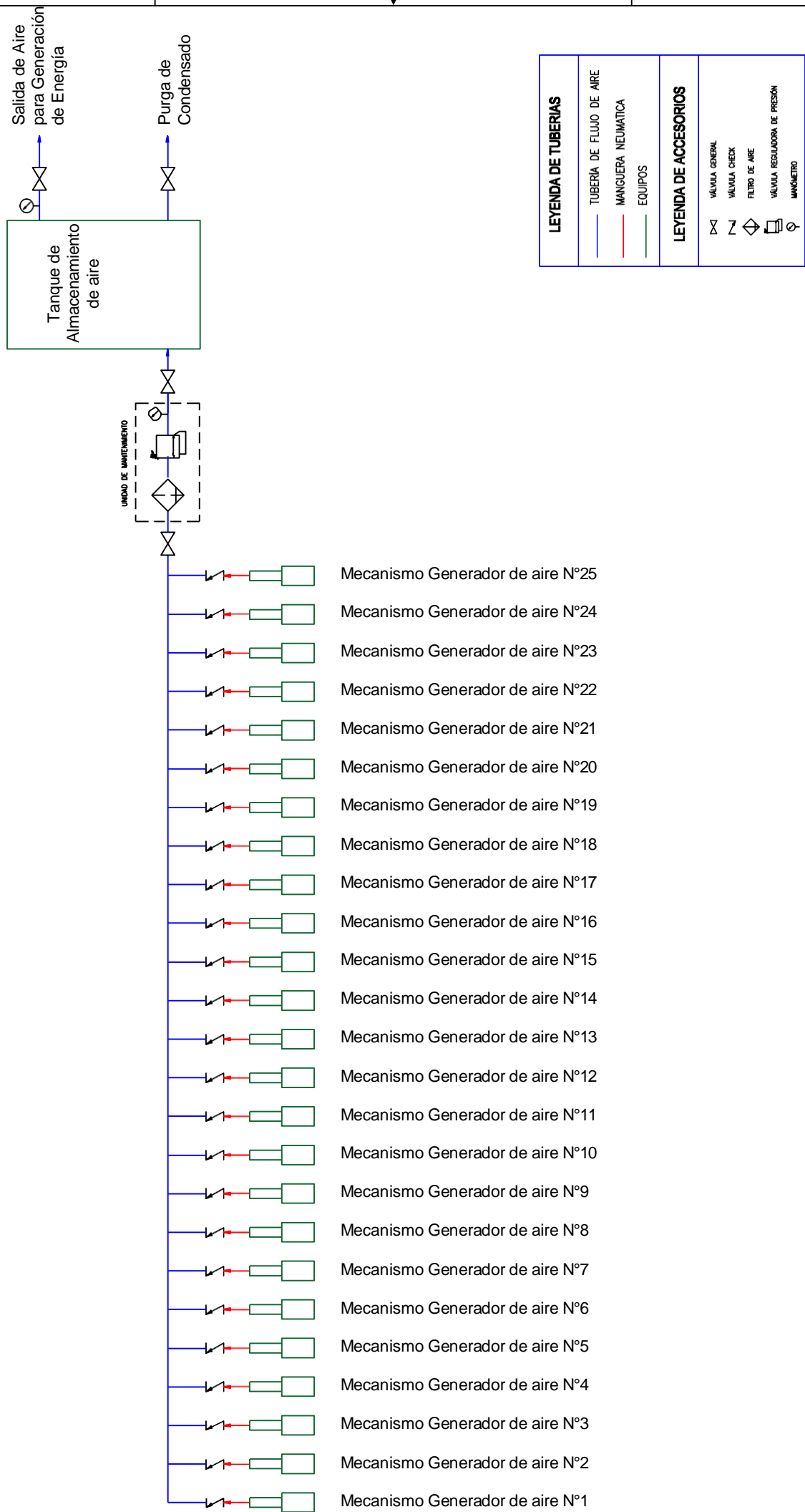
A continuación, en la figura 28, se ejemplifica como se acciona el mecanismo al hacer el pase de un vehículo liviano.

Figura 21

Accionamiento de mecanismo mediante el desplazamiento de un vehículo



Nota. Fuente: Elaboración propia

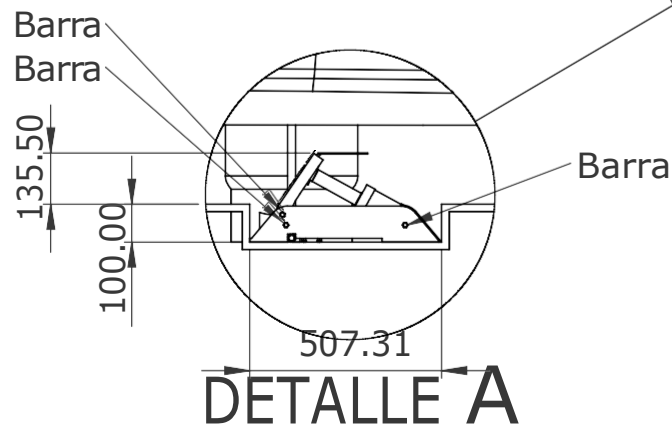
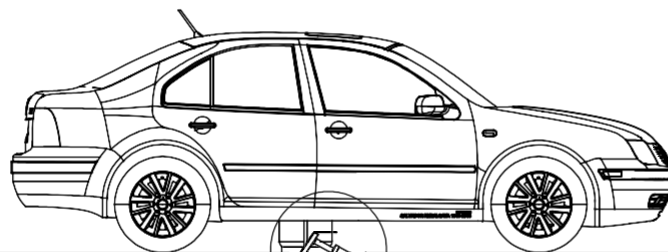
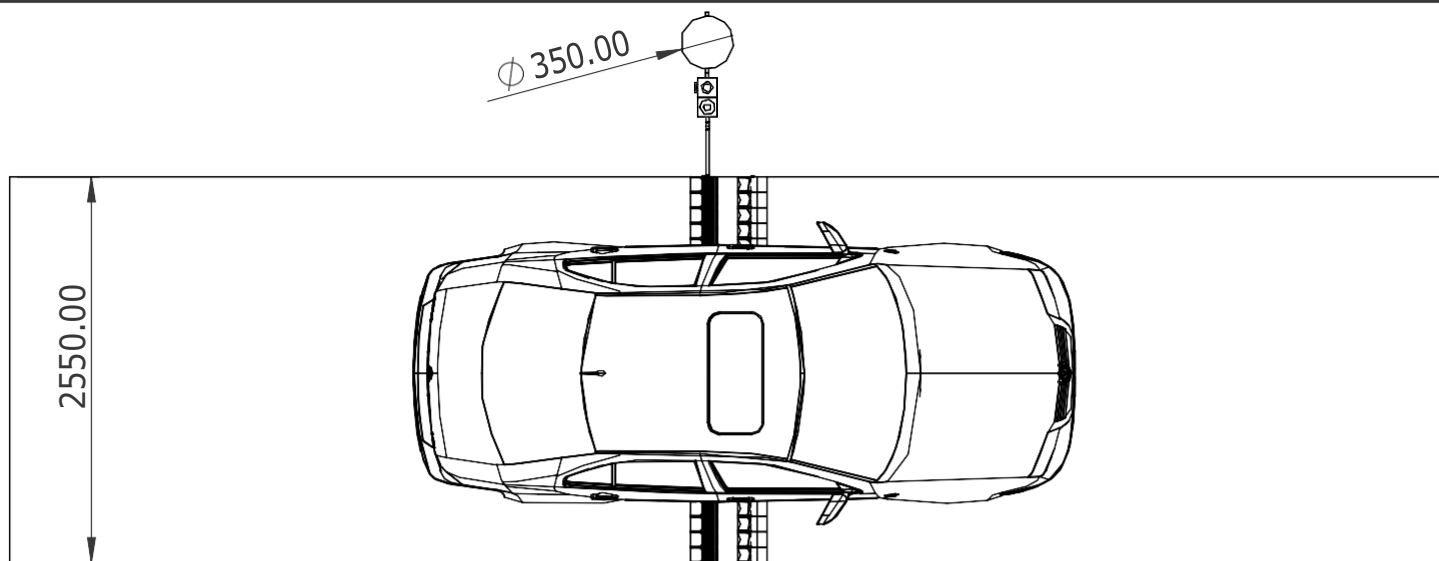


LEYENDA DE TUBERIAS	
—	TUBERIA DE FLUJO DE AIRE
—	MANGUERA NEUMATICA
—	EQUIPOS

LEYENDA DE ACCESORIOS	
	VÁLVULA GENERAL
	VÁLVULA CHECK
	FILTRO DE AIRE
	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN
	MANÓMETRO

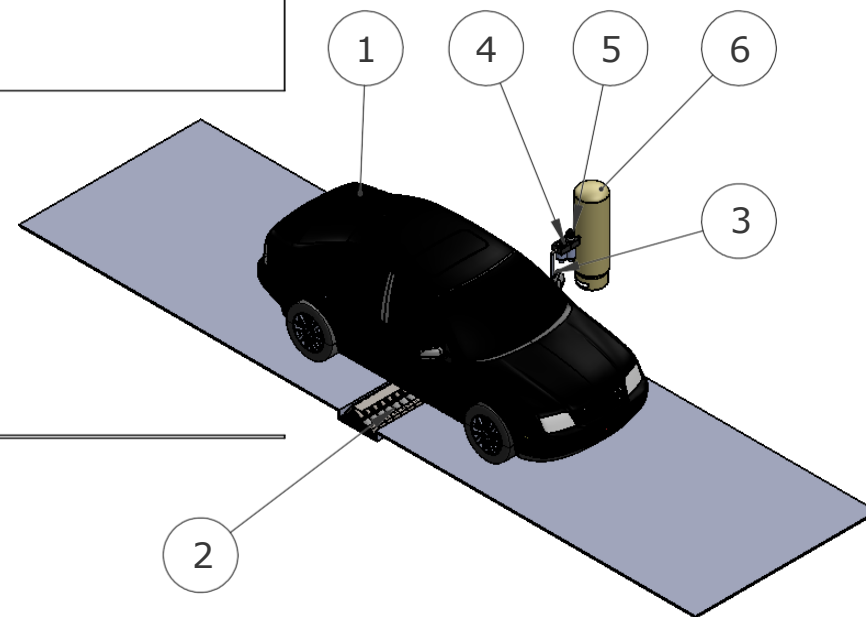
		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA MECÁNICA	CODIGO DE PROYECTO CIRC-GEN-AIRE	NOMBRE	
DIBUJADO CAMPOS VALENCIA ABRAHAM	ASESOR ESCALANTE ESPINOZA NELVER JAVIER	CIRCUITO DE RECOLECCIÓN DE AIRE	
P&ID DE LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO POR MEDIO DE UN MECANISMO GENERADOR		DESCRIPCIÓN	TAMAÑO DE FORMATO
			A2
		FECHA DE REVISIÓN	15/01/25
		NÚMERO DE PLANO	1/1

J. MORALES C. 18/01/2020

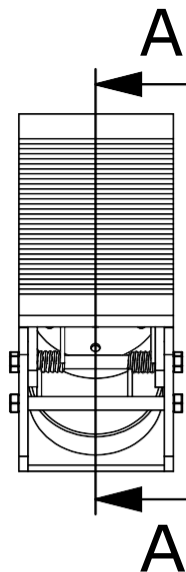


ESCALA 1 : 20

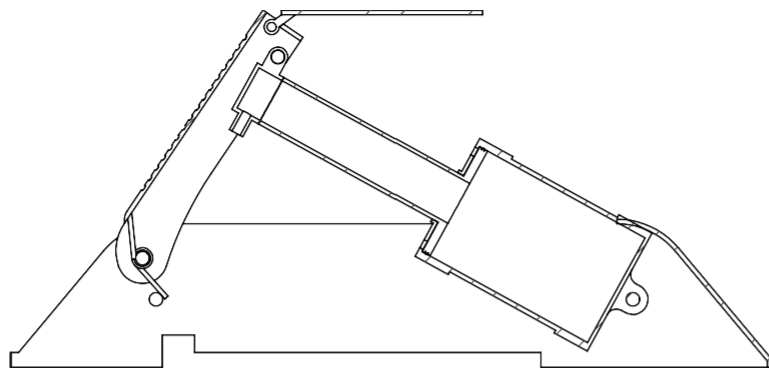
Nota:
La union de los componenetes es
mediante barras pasantes como se
pueden visualizar en el detalle A.



6	1	Tanque pulmón	ASTM	A-36	63.0 kg
5	1	Regulador de presión	-	-	2.0 kg
4	1	Filtro	-	-	1.2 kg
3	1	Tubería de ingreso de aire	ASTM	A-53	2.4 kg
2	25	Mecanismo captador de aire	ASTM	A-36	8.0 kg
1	1	Vehículo liviano	-	-	1500 kg
ITEM	CANTID	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	PESO UNIT.
EMPRESA: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA					
ESCALA: 1:50					
DIBUJADO: CAMPOS VALENCIA ABRAHAM					
REVISADO: ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA					
NOMBRE: MECANISMO GENERADOR DE AIRE COMPRIMIDO MEDIANTE EL PASO DE VEHICULOS LIVIANOS					
FECHA DE REALIZACION: 16/12/24					
NUMERO DE PLANO: 1/1					

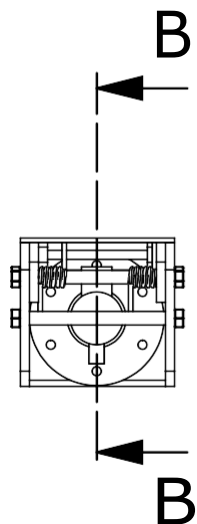


APERTURA DE MECANISMO AL 100%

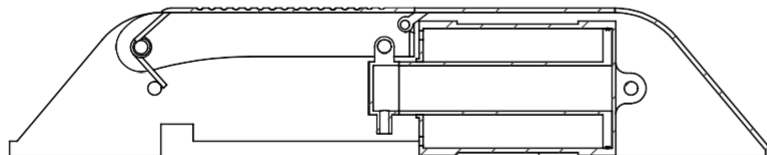


SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 5

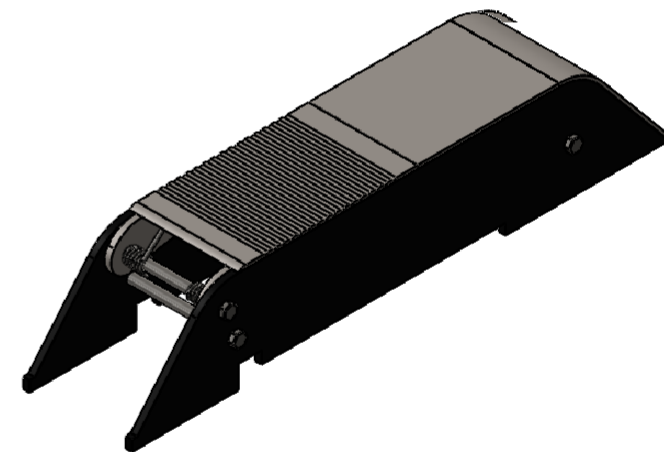
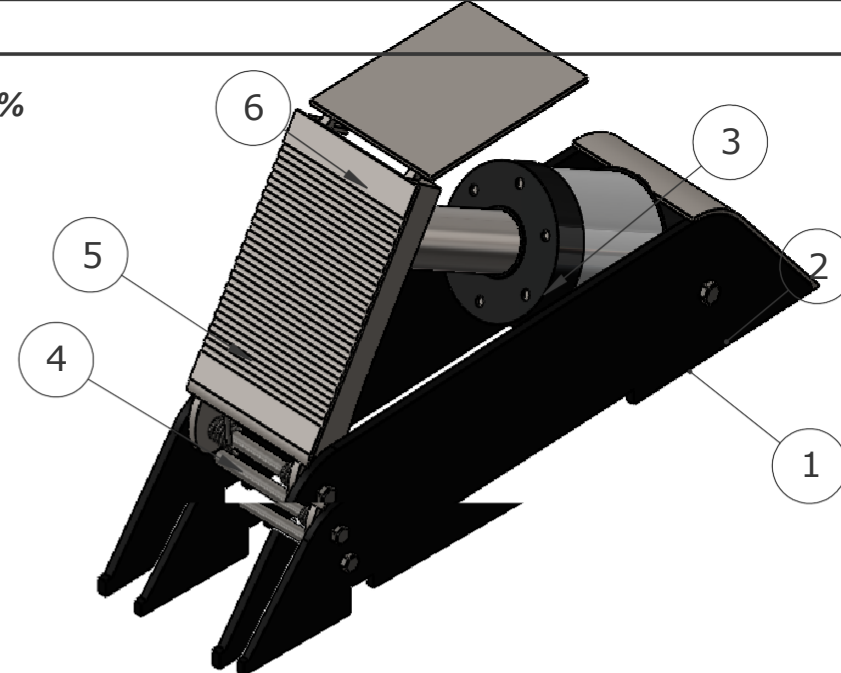


APERTURA DE MECANISMO AL 0%

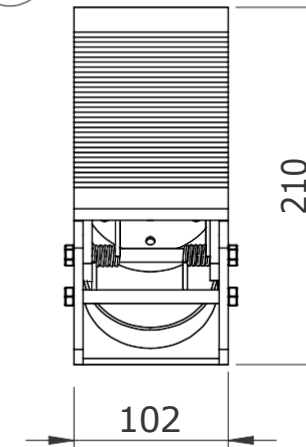


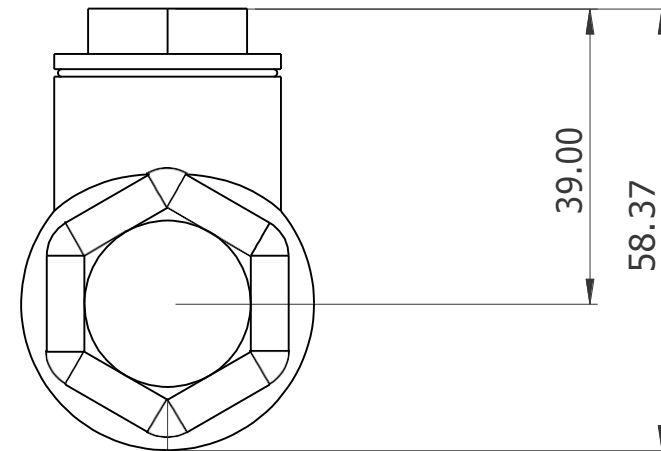
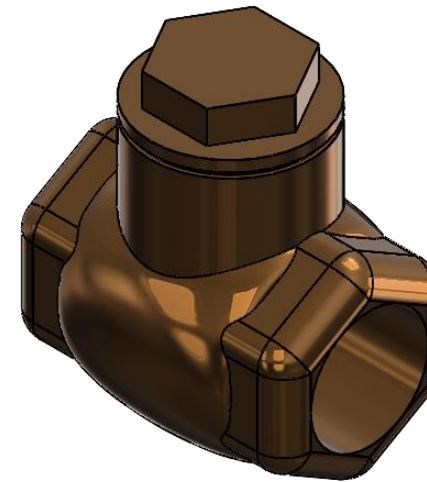
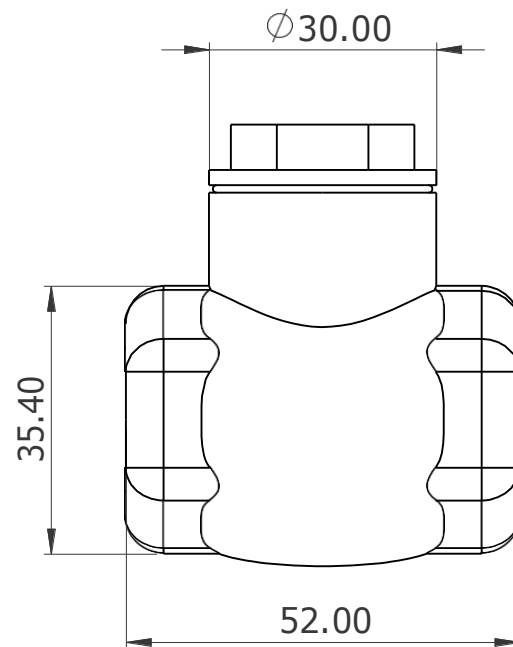
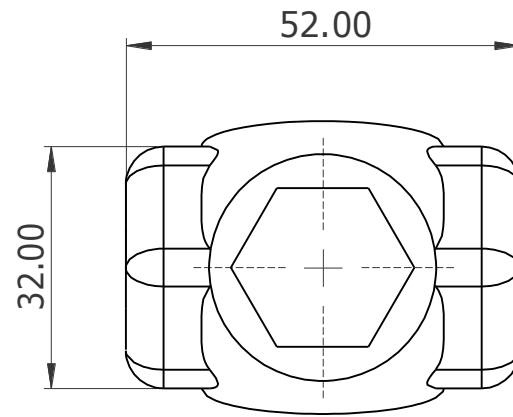
SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 5

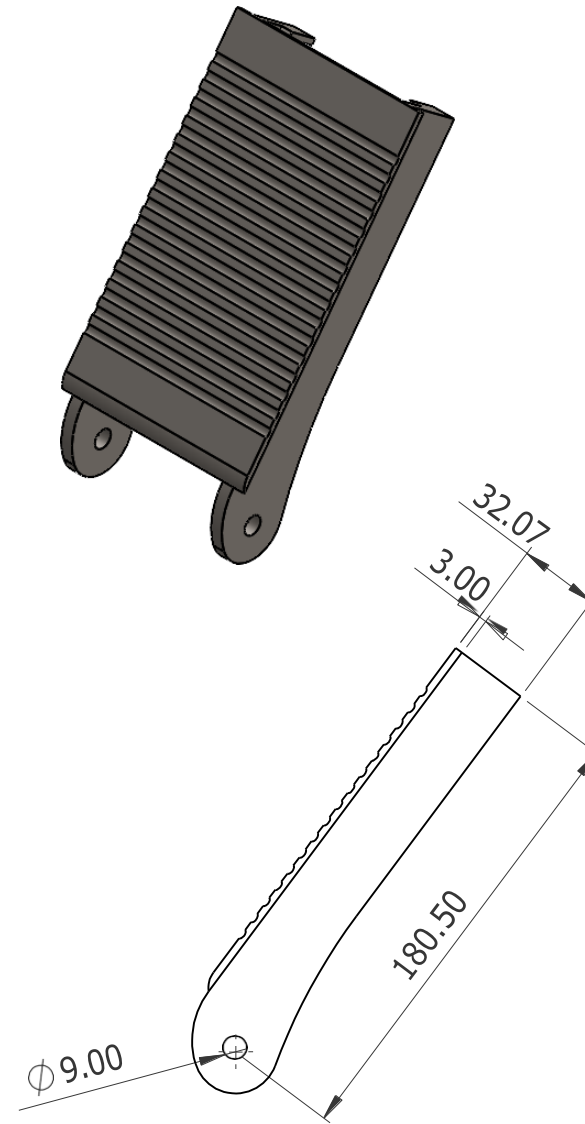
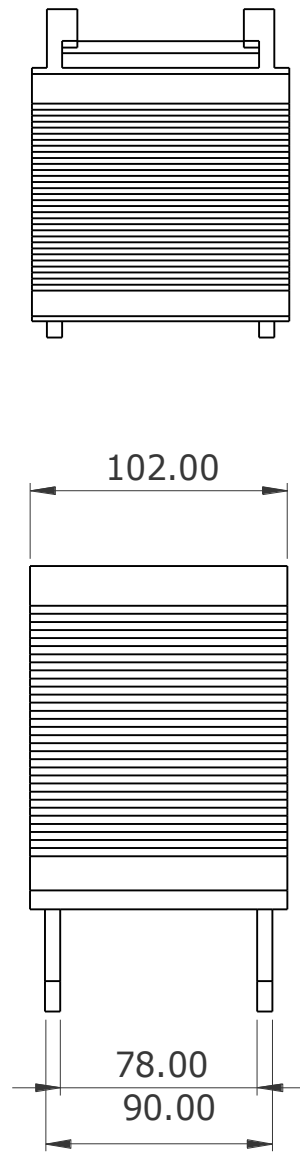


6	1	Superficie de deslizamiento de vehículo	ASTM	A-36	0.33 kg
5	1	Superficie de contacto con vehículo	ASTM	A-36	1.75 kg
4	2	Resortes	-	-	0.05 kg
3	1	Piston acumulador de aire	ASTM	A-36	1.85 kg
2	3	Ejes guía	AISI	304	0.05 kg
1	2	Soporte	ASTM	A-36	1.76 kg
ITEM	CANTID	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	PESO UNIT.
EMPRESA:		UNIVERSIDAD NACIONAL	LONGITUD (mm)		
		DEL SANTA	TOLERANCIA (mm)		
		ESCALA 1:3	NORMA DE RUGOSIDAD		
		DIBUJADO: Camposvalenda Abraham	VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)		
		REVISADO: ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA	NOMBRE:		
			MECANISMO GENERADOR DE AIRE COMPRIMIDO MEDIANTE EL PASO DE VEHICULOS LIVIANOS		
			FECHA DE REALIZACION:		
			NUMERO DE PLANOS:		

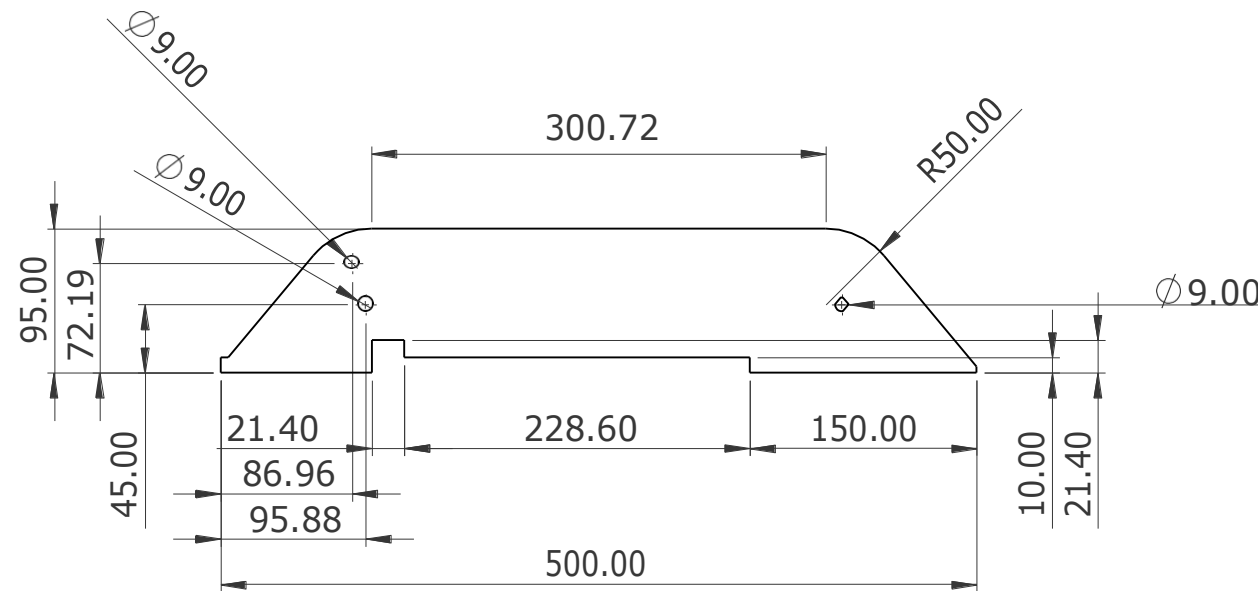
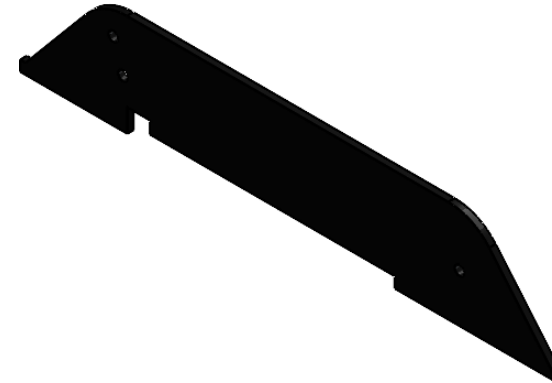
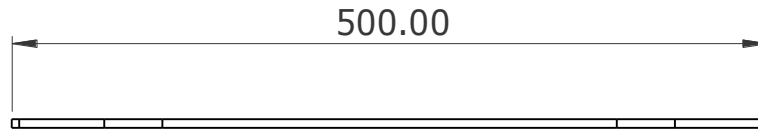
/1



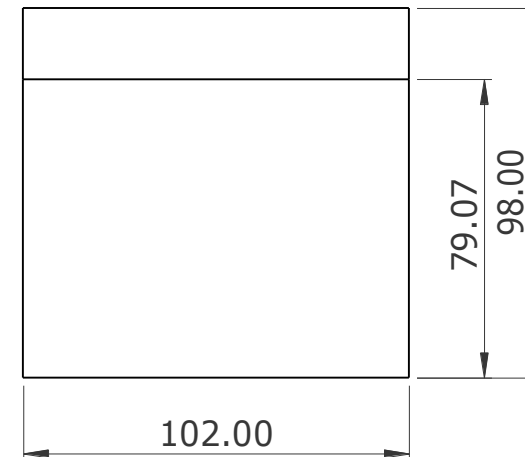
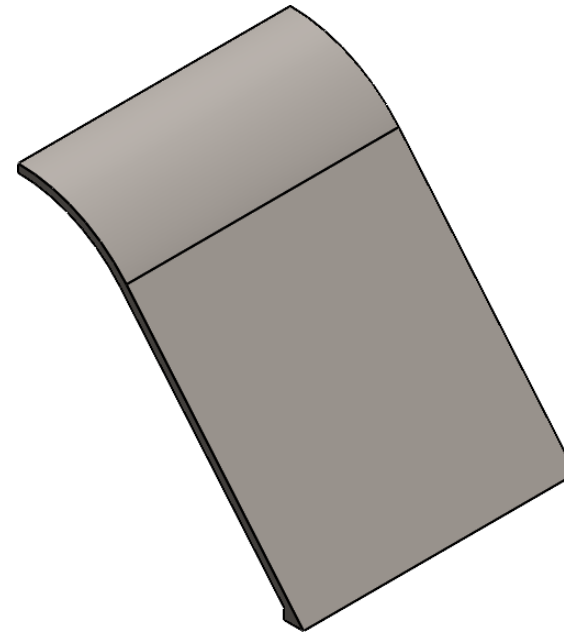
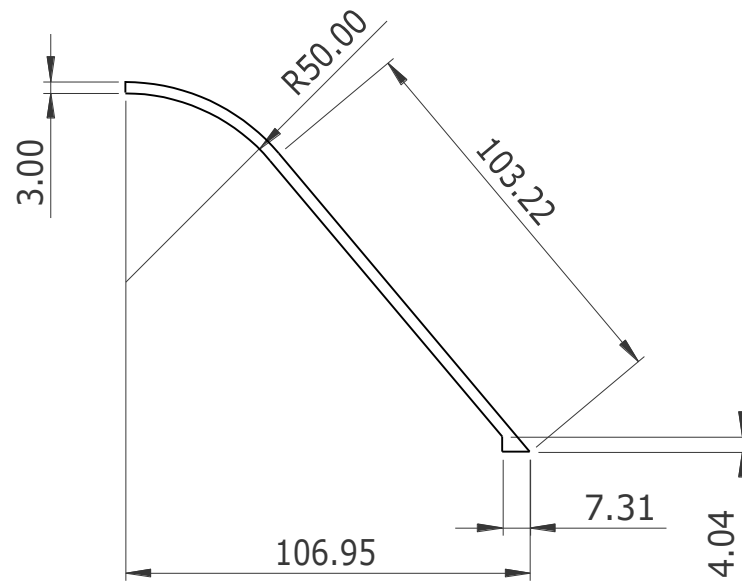
LISTA DE MATERIALES											
ITEM	CANTID	DESCRIPCION	NORMA				MATERIAL				PESO
1	1	Válvula check	-				Bronce				300 gr
UNIVERSIDAD NACIONAL		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
DEL SANTA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
ESCUOLA PROFESIONAL		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
INGENIERIA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
MECANICA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
DIBUJADO :		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
CAMPOS VALENCIA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
ABRAHAM		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
REVISADO :		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
ING. NELVER JAVIER		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
ESCALANTE ESPINOZA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
ESCALA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
1:1		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
CLASE DE		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
RUGOSIDAD		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
VALOR DE LA		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
RUGOSIDAD (MICRAS)		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
NOMBRE:		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
VÁLVULA CHECK		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
16/12/24		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
NUMERO DE PLANO:		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	
1/1		TOLERANCIA (mm)				TOLERANCIA (mm)				A4	




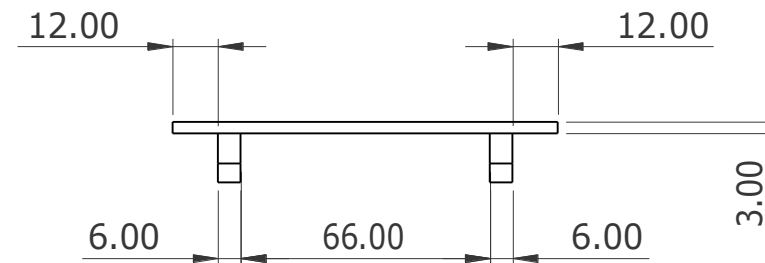
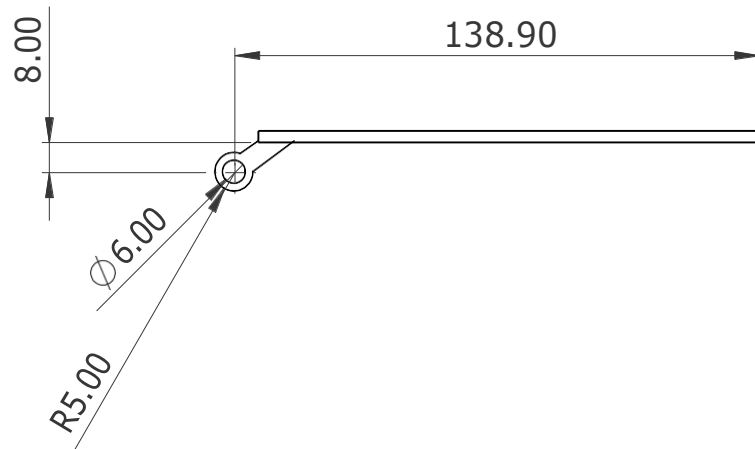
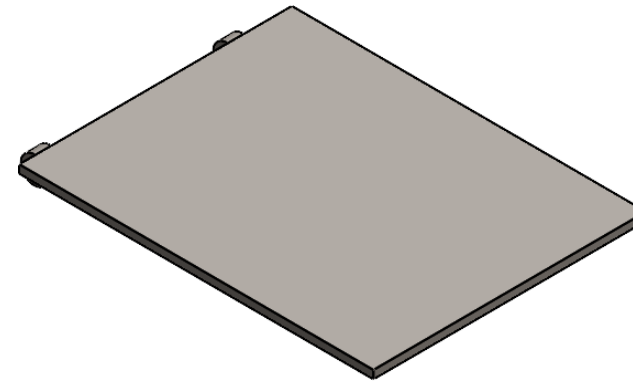
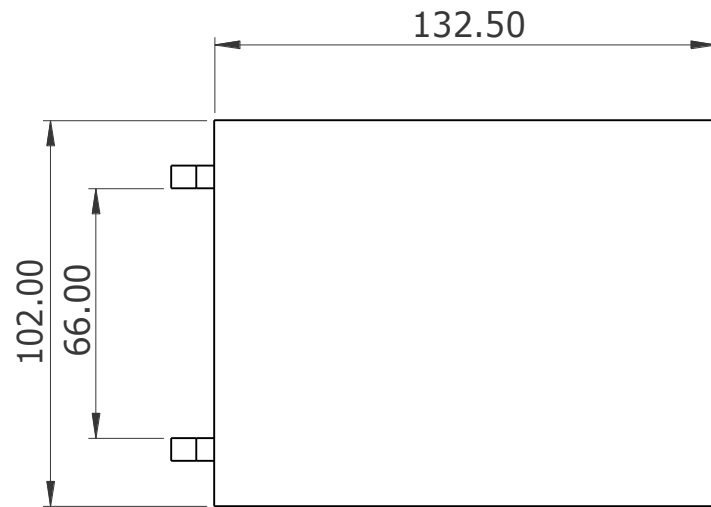
LISTA DE MATERIALES																
ITEM	CANTID	DESCRIPCION						NORMA				MATERIAL				PESO
1	1	Placa de impacto						ASTM				A-36				973 gr
		UNIVERSIDAD NACIONAL						TOLERANCIA (mm)				VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)				A4
		DEL SANTA						CLASE DE RUGOSIDAD				NOMBRE:				PLACA DE IMPACTO
		INGENIERIA MECANICA						DIBUJADO:				REVISADO:				FECHA DE REALIZACION:
		CAMPOS VALENCIA ABRAHAM						ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA				16/12/24				NUMERO DE PLANO:
																1/1



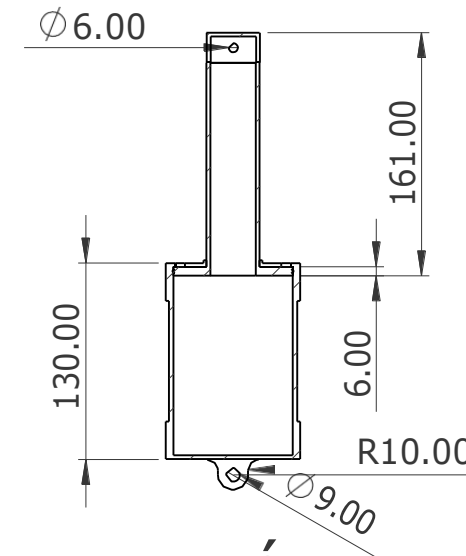
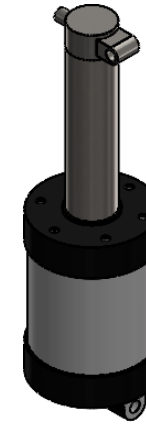
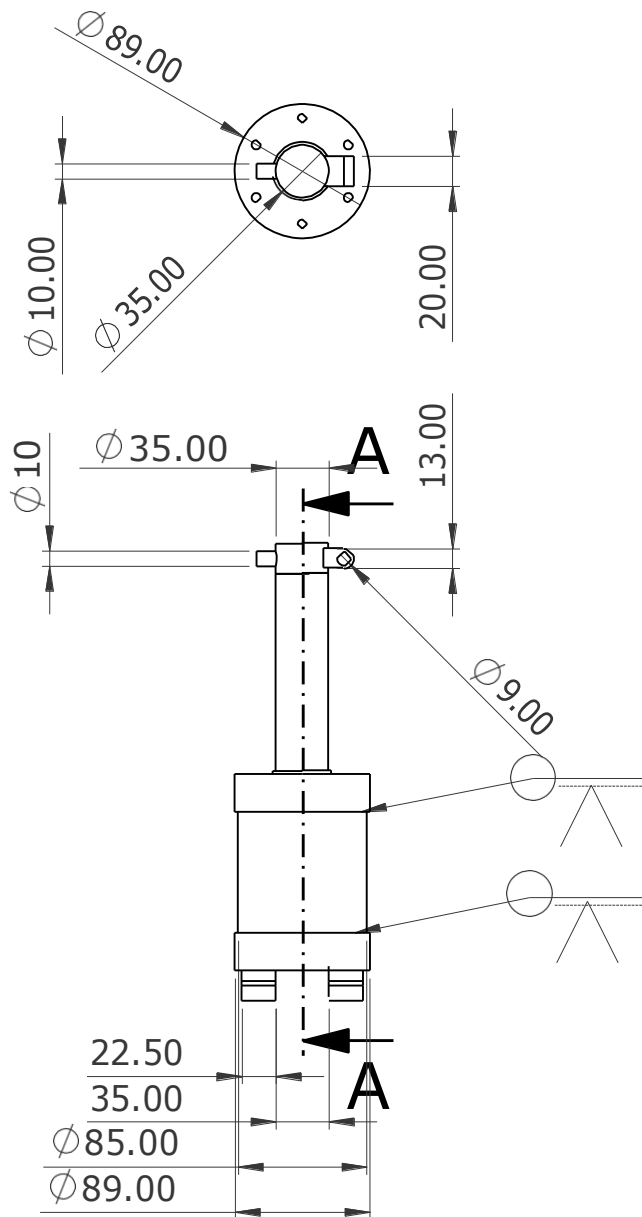
LISTA DE MATERIALES																						
ITEM	CANTID	DESCRIPCION						NORMA				MATERIAL				PESO						
1	1	Soporte lateral						ASTM				A-36				1.76 kg						
UNIVERSIDAD NACIONAL		TOLERANCIA (mm)						0	6	30	120	315	1000	2000	4000	8000	12000	15000				
DEL SANTA		TOLERANCIA (mm)						± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3	± 4	± 5	A4				
ESCUOLA PROFESIONAL INGENIERIA MECANICA		ESCALA		CLASE DE RUGOSIDAD						N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	FECHA DE REALIZACION:
		1:5								50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	16/12/24
DIBUJADO :		REVISADO :		NOMBRE:						SOPORTE LATERAL											NUMERO DE PLANO:	
CAMPOS VALENCIA ABRAHAM		ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA																			1/1	



LISTA DE MATERIALES																												
ITEM		CANTID	DESCRIPCION										NORMA				MATERIAL				PESO							
1		1	Placa de deslizamiento de vehiculo										ASTM				A-36				385 gr							
EMPRESA:			UNIVERSIDAD NACIONAL										TOLERANCIAS (mm)				TOLERANCIAS (mm)				TOLERANCIAS (mm)							
			DEL SANTA										TOLERANCIAS (mm)								A4							
			ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA MECANICA		ESCALA: 1:2		CLASE DE RUJOSIDAD VALOR DE LA RUJOSIDAD (MICRAS)										N12 N11 N10 N9 N8 N7 N6 N5 N4 N3 N2 N1										16/12/24	
			DIBUJADO : CAMPOS VALENIA ABRAHAM		REVISADO : ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA		NOMBRE:										50 25 12.5 6.3 3.2 1.6 0.8 0.4 0.2 0.1 .05 .025										NUMERO DE PLANO:	
			PLACA DE DESLIZAMIENTO DE VEHICULO																	1/1								



LISTA DE MATERIALES											
ITEM	CANTID	DESCRIPCION	NORMA				MATERIAL				PESO
1	1	TAPA SUPERIOR	ASTM				A-36				326 gr
UNIVERSIDAD NACIONAL		DEL SANTA		ESCALA		1:1		INGENIERIA MECANICA		A4	
DIBUJADO :		CAMPOS VALENCIA		REVISADO :		ING. NELVER JAVIER		ESCALANTE ESPINOZA		16/12/24	
ABRAHAM		TAPA SUPERIOR		NUMERO DE PLANO:		1/1					



SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 5

LISTA DE MATERIALES												
ITEM	CANTID	DESCRIPCION	NORMA				MATERIAL				PESO	
1	1	CILINDRO NEUMÁTICO	ASTM				A-36				1.85 kg	
EMPRESA		UNIVERSIDAD NACIONAL		LONGITUD		TOLERANCIA		VALOR DE LA		RUGOSIDAD (MICRAS)		TAMAÑO DE FORMATO
				6		± 0.1		± 0.2		± 0.3		A4
				120		± 0.5		± 0.8		± 1.2		
				125		± 1		± 1.5		± 2		
				1000		± 2		± 3		± 4		
				2000		± 3		± 4		± 5		
				4000		± 4		± 5		± 6		
				8000		± 5		± 6		± 7		
				12000		± 6		± 7		± 8		
				15000		± 7		± 8		± 9		
												FECHA DE REALIZACION:
												16/12/24
												NUMERO DE PLANO:
												1/1

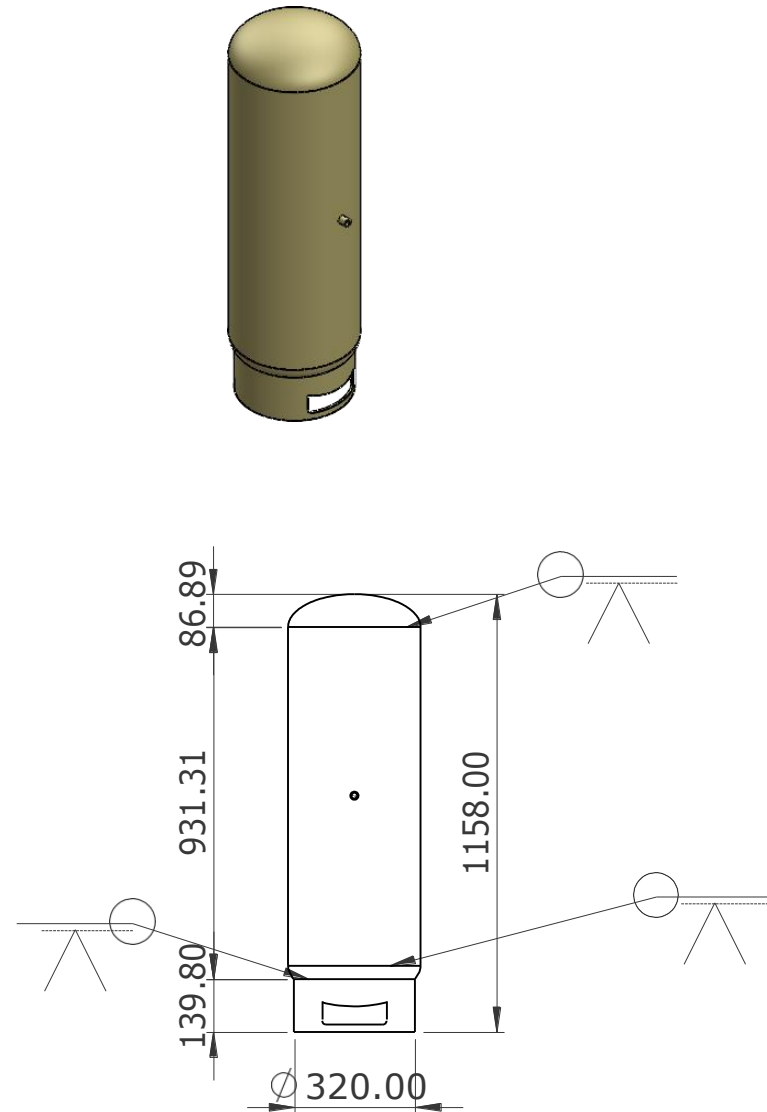
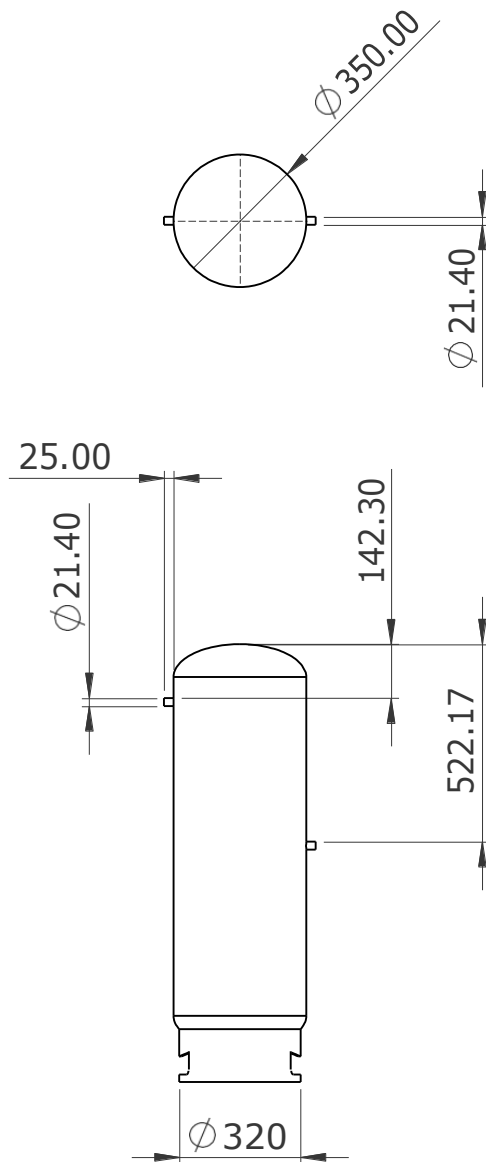



DEL SANTA
INGENIERIA
MECANICA

1:5

DIBUJADO: CAMPOS VALENCIA ABRAHAM
REVISADO: ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA

CILINDRO NEUMATICO



LISTA DE MATERIALES																												
ITEM	CANTID	DESCRIPCION										NORMA				MATERIAL				PESO								
1	1	TANQUE PULMÓN										ASTM				A-36				63.0 kg								
EMPRESA:		UNIVERSIDAD NACIONAL										LONGITUD				TAMANO DE FORMATO				A4								
		DEL SANTA										TOLERANCIA (mm)																
												min	0	30	120	125	130	135	140	145	150							
												max																
												± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3	± 4	± 5							
												CLASE DE RUGOSIDAD				N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	FECHA DE REALIZACION:
												VALOR DE LA RUGOSIDAD (MICRAS)				50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	16/12/24
												NOMBRE:				TANQUE PULMÓN										NUMERO DE PLANO:		
																										1/1		
		ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA MECANICA										ESC. ALA: 1:20																
		DIBUJADO : CAMPOS VALENCIA ABRAHAM										REVISADO : ING. NELSON JAVIER ESCALANTE ESPINOZA																

Anexo 3. Selección de componentes

El catálogo de Kaeser Compresores nos brinda la siguiente tabla de selección:

Figura 22

Tabla de Selección para Tanque Pulmón

Volumen del tanque l	Presión máxima de trabajo psig	Versión		Versión vertical				Versión horizontal			
		Vertical	Horizontal	Alto mm	Diámetro mm	Conexión entrada/salida	Peso kg	Largo mm	Diámetro mm	Conexión entrada/salida	Peso kg
90	160 680	Si	—	1,158 1,236	350 355	2 x G ½ posterior	33 125	—	—	—	—
150	160 232	Si	Si	1,190	450	2 x G ¾ posterior	60 60	1,050 1,346	450 400	2 x G 2	55 75
250	160 232	Si	Si	1,540 1,546	500	2 x G ¾ posterior	84 100	1,410 1,410	500	2 x G 2	84 100
	680		—	1,709	500	2 x G 1 posterior	250	—	—	—	—
350	160 232	Si	Si	1,770 1,815	460	2 x G 1 posterior	101 126	1,630	550	2 x G 2	101 164
500	160 232	Si	Si	1,941	—	2 x G 1 posterior	131 208	1,780 1,053	600	2 x G 2	131 208
	680		—	1,975			515	—	—	—	—
900	160	Si	—	2,170	800	2 x G 2; 2 x G 1½	238	—	—	—	—
1,000	160 232	Si	Si	2,273 2,270	800	2 x G 1½; 2 x G 2	244 356	2,165	800	G 2; 1 x G 1½	244 348
	47		—	2,365		4 x G 1½	670	—	—	—	—
2,000	160 232	Si	Si	2,375 2,510	1,150 1,100	4 x G 2½	471 650	2,200	1,150	2 x G 2	471 600
	680		—	2,570	1,100	4 x DN 80	1,530	—	—	—	—
3,000	160 232	Si	Si	2,720 2,785	1,250	4 x G 2½	683 850	2,550	1,250	2 x G 2½ 2 x G 2	683 850
4,000	160	Si	—	3,005	1,400	4 x DN 100	950	—	—	—	—
5,000	160 232	Si	Si	3,570	1,400	4 x DN 100	1,050 2,100	3,470 3,700	1,400	4 x DN 100	1,050 1,800
8,000	160 232	Si	Si	4,400	1,600	4 x DN 200	1,850 2,470	4,440 4,440	1,600	2 x DN 200	1,850 2,470
10,000	160 232	Si	Si	5,415	1,600	4 x DN 200	2,260 2,550	5,400 5,440	1,600	2 x DN 200	2,200 2,650

Nota: Fuente Catálogo de Kaeser compresores, tanques de almacenamiento de aire comprimido (pág. 07)

De acuerdo a la capacidad requerida tenemos una selección de tanque de 90 litros, con una altura de 1158 mm y un diámetro de 350 mm. Se selecciona este tanque debido a que no se requiere un gran volumen de aire para el caso.

Para asegurar el buen funcionamiento del tanque, debemos calcular el espesor mínimo requerido en base a la ecuación del Cálculo del espesor mínimo del tanque: según ASME BPVC Section VIII, Div. 1:

$$t = (P \times R) / (S \times E - 0.6 \times P)$$

Donde: $P = 160$ PSI, $R = 175$ mm, $S = 20,000$ PSI, $E = 1.0$

$$t = (160 \times 175) / (20,000 - 96) = 1.41 \text{ mm} \rightarrow \text{Se adopta } t = 4.5 \text{ mm por seguridad.}$$

Prueba hidrostática:

Presión de prueba = $1.5 \times$ presión de diseño = $1.5 \times 160 = 240$ PSIG. El tanque soportó la presión sin deformaciones ni fugas durante 30 minutos.

Figura 23

Tabla de modelo modular filtro regulador serie AW

AW 30 - 03 BE - D						Selección de opción y semi-estándar				
						· Selecciona una de cada para a a i. · Si se requiere más de una especificación, indícalas en orden alfabético. Ejemplo) AW30K-F03BE-1NR-D				
	Simbolo	Descripción	1 Tamaño del cuerpo							
			20	30	40	60				
2	Con función de flujo inverso	—	●	●	●	●				
		K ^{*1}	●	●	●	●				
3	Modelo de rosca de conexión	+								
		Rc	●	●	●	●				
		N	●	●	●	●				
		F	●	●	●	●				
4	Tamaño de conexión	+								
		01	●	—	—	—				
		02	●	●	●	—				
		03	—	●	●	—				
		04	—	—	●	—				
		06	—	—	●	●				
		10	—	—	—	●				
5	a	—	●	●	●	●				
		B ^{*2}	●	●	●	●				
		H	●	●	●	—				
	b	+								
		—	●	●	●	●				
		C ^{*3}	●	●	●	●				
		D ^{*4}	—	●	●	●				
	c	+								
		—	●	●	●	●				
		E	●	●	●	●				
		G	●	●	●	●				
		M	●	●	●	●				
		E1	●	●	●	●				
		E2	●	●	●	●				
		E3	●	●	●	●				
		E4	●	●	●	●				
6	d	+								
		—	●	●	●	●				
		1	●	●	●	●				
	e	+								
		—	●	●	●	●				
		2	●	●	●	●				
		6	●	●	●	●				
		8	—	●	●	●				
		C	●	— ^{*11}	— ^{*11}	— ^{*11}				
		6C	●	— ^{*12}	— ^{*12}	— ^{*12}				
	f	+								
		—	●	●	●	●				
		J ^{*14}	—	—	—	—				
	Conexión de purga ^{*13}	—	●	●	●	●				
		W ^{*15}	—	●	●	●				

Nota: Fuente Catálogo de SMC Unidades F.R.L. modulares (pág. 113)

Figura 24

Parámetros de Operación de Modelo Modular de Filtro Regulador Serie AW

Serie **AW20-D a AW60-D**

Serie **AW20K-D a AW60K-D**

Características técnicas estándar

Modelo	AW20-D	AW30-D	AW40-D	AW40-06-D	AW60-D
Tamaño de conexión	1/8, 1/4	1/4, 3/8	1/4, 3/8, 1/2	3/4	3/4, 1
Tamaño de conexión de manómetro*1	1/8				
Fluido	Aire				
Temperaturas ambiente y de fluido*2	-5 a 60 °C (sin congelación)				
Presión de prueba	1.5 MPa				
Presión máx. de trabajo	1.0 MPa				
Presión mín. de trabajo	N.C.	0.1 MPa	0.15 MPa		
de purga automática	N.A.	—	0.1 MPa		
Rango de presión de regulación	0.05 a 0.85 MPa				
Grado de filtración nominal*3	5 µm				
Clase de pureza de aire comprimido*4	ISO 8573-1:2010 [6 : 4 : 4]*5				
Capacidad de purga	8 cm³	25 cm³	45 cm³		
Material del vaso	Policarbonato				
Protección del vaso	Semi-estándar (Acero)		Estándar (Policarbonato)		
Diseño	Modelo de alivio				
Peso	0.18 kg	0.34 kg	0.64 kg	0.69 kg	1.76 kg

*1 Las rosas de conexión del manómetro no están disponibles para las unidades F.R.L. con manómetro cuadrado integrado o con un presostato digital.

*2 De -5 a 50 °C para los productos con presostato digital

*3 [Conforme a condición de prueba ISO 8573-4:2001 y método de prueba ISO 12500-3:2009]
Condiciones: Nuevo elemento filtrante La capacidad de caudal, la presión de entrada y la cantidad de cuerpos extraños en la entrada del filtro son estables.

*4 La clase de pureza de aire comprimido se indica según ISO 8573-1:2010 Aire comprimido – Parte 1: Contaminantes y clases de pureza.
Para más detalles sobre este estándar, consulta la p. 131.

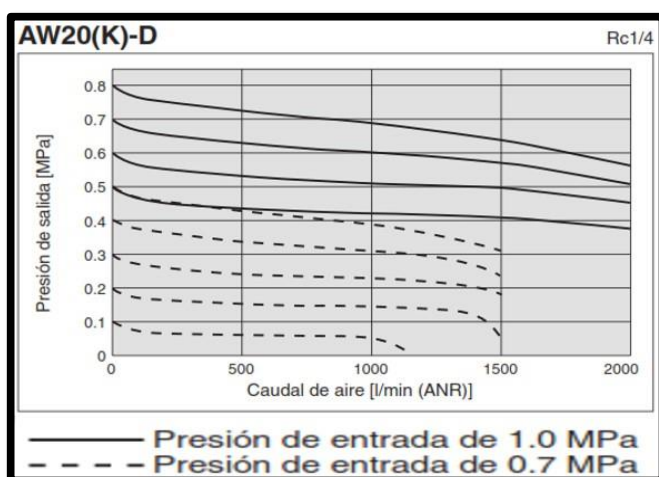
*5 La clase de calidad del aire comprimido en el lado de alimentación es [7 : 4 : 4].

Nota: Fuente Catálogo de SMC Unidades F.R.L. modulares (pag. 115)

Se seleccionó el AW20-D debido a que sus parámetros de operación están dentro de los rangos deseados.

Figura 25

Características de Caudal del Filtro Regulador AW20-D



Nota: Fuente Catálogo de SMC Unidades F.R.L. modulares (pág. 117)

El sistema neumático se diseñó para garantizar un flujo estable de aire comprimido. El aire generado por los cilindros neumáticos se conduce al tanque pulmón a través de una red de mangueras de poliuretano de 1/4 in de diámetro interno, con presión nominal de 145 PSI. La conexión incluye los siguientes componentes:

- Filtro regulador SMC AW20-D: elimina humedad e impurezas, conforme a ISO 8573-1 Clase 2.
- Válvula antirretorno (check): evita el reflujo de aire hacia los pistones.
- Válvula de alivio (PRV): calibrada a 150 PSI para proteger el sistema ante sobrepresión.
- Manómetro analógico: rango 0–200 PSI, precisión $\pm 1\%$, conforme a norma EN 837-1.
- Válvula de purga: instalada en la base para drenaje de condensado.

En la presente sección se describen los materiales seleccionados y las normas técnicas aplicadas para la fabricación del mecanismo generador de aire comprimido mediante el paso de vehículos livianos. La elección de los materiales se basa en criterios de resistencia mecánica, durabilidad, costo y facilidad de mantenimiento

Tabla 9*Materiales de mecanismo*

Ítem	Componente	Material propuesto	Norma técnica aplicable	Justificación técnica
1	Soporte estructural	Acero estructural ASTM A36	ASTM A36 / NTP 350.020 (Perú)	Posee buena soldabilidad, resistencia mecánica y bajo costo; adecuado para bases y bastidores que soportan cargas dinámicas.
2	Ejes guía	Acero inoxidable AISI 304	ASTM A276 / NTP 341.034	Alta resistencia a la corrosión y al desgaste superficial por deslizamiento continuo.
3	Pistón acumulador de aire	Aluminio aleado 6061-T6	ASTM B209 / SAE AMS 4027	Ligero, resistente y apto para componentes neumáticos; buena maquinabilidad.
4	Válvula check (antirretorno)	Latón (bronce amarillo CuZn40Pb2)	ASTM B124 / ISO 5208	Alta resistencia a la corrosión y buena estanqueidad; ideal para válvulas neumáticas.
5	Superficie de contacto con el vehículo	Acero al carbono A36 con pintura epóxica antideslizante	ASTM D4541 / NTP 399.613	Soporta impacto directo de llantas; el recubrimiento evita desgaste y corrosión.
6	Superficie de deslizamiento del vehículo	Caucho industrial vulcanizado (NR o SBR)	ASTM D2000 / ISO 1629	Proporciona fricción controlada, absorbe vibraciones y protege el contacto metálico directo.

Nota. Fuente: Elaboración Propia**Anexo 4. Cálculo teórico de mecanismo**

Para el cálculo teórico del mecanismo, tomaremos los datos del peso de un vehículo de 1000 kg, y se dividirá entre cada punto de apoyo (cada llanta), entonces, de la ecuación 5 tendremos, la cual nos servirá para determinar la fuerza teniendo como valor la aceleración de la gravedad de 9.8 m/s^2

Fuerza

$$F = m * a \quad (5)$$

$$F = 500 * 9.8$$

$$F = 4900 \text{ N}$$

De la ecuación 6 tendremos la presión máxima del sistema aplicada sobre los 25 pistones:

Presión

$$P = \frac{F}{A} \quad (6)$$

$$P = 4900 / ((\pi (0.079)^2/4)*25)$$

$$P = 39,986.37 \text{ Pa} = 0.4 \text{ Bar} = 5.8 \text{ PSI}$$

De la ecuación 7 tendremos el volumen por cilindro y multiplicado por la cantidad de cilindros tendremos el total de aire por pase de vehículo:

Volumen de cilindro

$$V = \pi * r^2 * h \quad (7)$$

Siendo:

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$r = \text{Radio del cilindro (m)}$$

$$h = \text{altura (m)}$$

$$V = (\pi (0.119) (0.079)^2/4) * 25$$

$$V = 0.0146 \text{ m}^3$$

El caudal de aire considerando la carrera completa del pistón en 1 segundo será:

$$Q = V * A$$

$$Q = (0.119/1) * (\pi * (0.079)^2/4)$$

$$Q = 0.000583 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el cálculo del mecanismo a escala, se utilizó un recipiente cilíndrico y un inflador accionado mediante el pie. Para determinar la capacidad del prototipo a escala de aire comprimido que se va almacenar en el tanque que hemos utilizado como prototipo haremos uso de la ecuación 9. Como tenemos el diámetro inicial (0.4 m) y contamos con la altura del tanque (0.6 m) podemos determinar la capacidad requerida (V) se debe multiplicar la capacidad altura inicial por el radio al cuadrado quedando de la siguiente manera:

$$V = \Pi (0.6) (0.4/2)^2$$

$$V = 0.08 \text{ m}^3$$

Para determinar la presión total de accionamiento del inflador de pie de tornillo se debe obtener la fuerza que se ejerce sobre ella, considerando como masa el peso promedio de una persona (80 kg), mediante la ecuación 6. Por lo tanto, la expresión siguiente resume lo anterior mencionado:

Fuerza

$$F = 80 * 9.8$$

$$F = 784 \text{ N}$$

De la ecuación 7 tendremos la presión máxima del sistema aplicada sobre el pistón, donde el área estará dada por $A = 0.015 \text{ m}^2$:

$$P = 784 / 0.015$$

$$P = 52,266.67 \text{ Pa} = 0.52 \text{ Bar} = 7.5 \text{ PSI}$$

Figura 26

Circuito neumático y depósito de aire comprimido



Nota. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10

Diseño de tanque

Descripción	Valor
Volumen del tanque	0.08 m ³
Presión de entrada al tanque	7.5 PSI $T_i=25^{\circ}\text{C}$ $H_r=70\%$
Presión de salida del tanque	40 PSI $T_f=20^{\circ}\text{C}$

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5. Cálculo del condensado

6.3. Condensados

A continuación, se muestra un procedimiento típico para estimar la cantidad de agua que se condensa en un tanque cuando el aire (con cierta humedad) se comprime y/o se enfría. Se asume que todo el tanque (0,08 m³) se llena con aire que entra a 7,5 PSI (Entrada) y 25 °C, humedad relativa al 70 % HR, y que el tanque

termina a 40 PSI (presión de salida) y a una temperatura de 20 °C. El método se basa en los principios de la PSICrometría y el gas ideal:

Datos de partida

- Volumen del tanque: $V=0,08 \text{ m}^3$
- Presión de entrada: $P_i = 7,5 \text{ PSI}$

Presión absoluta de entrada:

$$P_{i,abs} = P_i + P_{atm} \quad (8)$$

$$P_{i,abs} = 7,5 \text{ PSI} + 14,7 \text{ PSI}$$

$$P_{i,abs} = 22,2 \text{ PSI} \approx 153 \text{ kPa.}$$

- Temperatura de entrada: $T_i = 25 \text{ °C}$
- Humedad relativa de entrada: $\phi_i = 70 \%$
- Presión final: $P_f = 40 \text{ PSI}$

Presión absoluta final:

$$P_{f,abs} = 40 \text{ PSI} + 14,7 \text{ PSI}$$

$$P_{f,abs} = 54,7 \text{ PSI} \approx 377,5 \text{ kPa.}$$

- Temperatura Final: $T_f = 20 \text{ °C}$

6.4. Presión de saturación del vapor de agua

- A 25 °C, la presión de saturación del vapor de agua (P_{sat}) es aproximadamente 3,17kPa ($\approx 0,46$ PSI).
- A 20 °C, la presión de saturación es aproximadamente 2,33kPa ($\approx 0,34$ PSI).

6.5. Cálculo de la fracción de vapor de agua al entrar.

Si el aire entra a 25 °C con 70 % de humedad relativa, la presión parcial de vapor de agua de entrada es:

$$P_{ipv,i} = \phi i \times p_{sat} (25^{\circ}C) \quad (9)$$

$$p_{v,i} = 0,70 \times 3,17kPa \approx 2,22kPa.$$

La humedad específica (o razón de humedad) W (kg de vapor de agua por kg de aire seco) puede estimarse con la fórmula PSIcométrica aproximada:

$$P_W = 0,622/P_{aire} - P_v \quad (10)$$

donde P_{aire} es la presión total del aire en las mismas unidades (kPa, en este caso).

Presión total de entrada (absoluta): $P_i, abs \approx 153$ kPa

Entonces,

$$W_i = 0,622 (2,22 / (153 - 2,22)) \approx 0,622(2,22/150,78) \approx 0,622 \times 0,0147 \approx 0,0091 \text{ (kg vapor de agua/kg aire seco).}$$

En otras palabras, 9,1 g de H₂O por kg de aire seco en la condición de entrada.

6.6. Masa de aire seco dentro del tanque en la condición final

Suponiendo que, al final, el tanque queda a 40 PSI (salida) = 54,7 PSI (abs) \approx 377,5 kPa y 20 °C (293 K), usamos la ley de los gases ideales para hallar cuánta masa de aire hay dentro:

$$P_{f, \text{abs}} \cdot V = m_{\text{aire}} \cdot R_{\text{esp}} \cdot T_f \quad (11)$$

Donde:

- $P_{f, \text{abs}} = 377,5 \text{ kPa}$,
- $V = 0,08 \text{ m}^3$
- $T_f = 293 \text{ K}$
- R_{esp} (constante específica del aire) $\approx 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 287 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{K})$.
(1 kPa = 1000 Pa.)

Entonces,

$$m_{\text{aire}} = P_{f, \text{abs}} \cdot V / R_{\text{esp}} \cdot T_f$$

$$m_{\text{aire}} = 377,500 \text{ Pa} \times 0,08 \text{ m}^3 / 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times 293 \text{ K} \approx 30,200 / 84,091 \approx 0,36 \text{ kg de aire seco.}$$

6.7. Cuánta agua podría haber contenido ese aire si no condensara.

Antes de enfriar y/o comprimir hasta 20 °C, la misma masa de aire seco (0,36 kg) venía con la humedad específica inicial $W_i=0,0091$. Es decir:

$$m_{\text{agua inicial}} = m_{\text{aire}} \times W_i \quad (12)$$

$$m_{\text{agua inicial}} = 0,36 \text{ kg aire} \times 0,0091 \approx 0,0033 \text{ kg de H}_2\text{O} = 3,3 \text{ g de H}_2\text{O}.$$

6.8. Humedad específica máxima a la condición final (20 °C, 40 PSI).

A 20 °C, la presión de saturación del vapor de agua es 2,33 kPa

En el tanque, la presión total es 377,5 kPa

La máxima presión parcial de vapor que se puede sostener (sin condensar) es 2,33 kPa. De nuevo usamos:

$$W_f = 0,622 (2,33 / (377,5 - 2,33)) \approx 0,622 \times (2,33 / 375,17) \approx 0,00386 \text{ (kg vapor/kg aire seco)}.$$

Es decir, 3,86 g de H₂O por kg de aire seco pueden permanecer en fase vapor a 20 °C y 40 PSI (abs).

La masa de agua que permanece en fase vapor en el tanque es:

$$m_{\text{agua final (vapor)}} = m_{\text{aire}} \times W_f \quad (13)$$

$$m_{\text{agua final (vapor)}} = 0,36 \text{ kg aire} \times 0,00386 \approx 0,00139 \text{ kg} = 1,39 \text{ g de vapor}.$$

6.9. Cantidad de agua que se condensa.

La diferencia entre el agua inicial que venía con el aire y el agua que permanece en fase vapor al final es lo que se condensa:

$$m_{\text{condensado}} = m_{\text{agua inicial}} - m_{\text{agua final (vapor)}} \quad (14)$$

$$m_{\text{condensado}} = 3,3\text{g} - 1,39\text{g} \approx 1,9\text{g}.$$

En volumen, serían cerca de 1,9 mL (pues la densidad del agua es aproximadamente 1 g/mL).

6.10. Resumen y consideraciones

Resultado aproximado:

Se condensan alrededor de 1,9 gramos de agua ($\approx 1,9$ mL) cuando se llena el tanque de 0,08 m³ desde aire a 25 °C/70 %HR/7,5 PSI(g) hasta llegar a 40 PSI(g) y 20 °C.

- El cálculo es teórico, basado en que:

El proceso es suficientemente lento o estático como para que la temperatura final sea 20 °C y la presión final sea 40 PSI, y que la humedad se equilibre.

No se consideraron pérdidas de calor adicionales ni procesos transitorios (por ejemplo, calentamiento adiabático en la compresión real).

Se ignora cualquier purga previa, arrastre de aceite, etc.

En la práctica, la cantidad real de condensado puede variar debido a:

Temperaturas reales distintas (compresión calienta el aire, luego el enfriamiento posterior condensa más agua).

Purgas frecuentes del tanque.

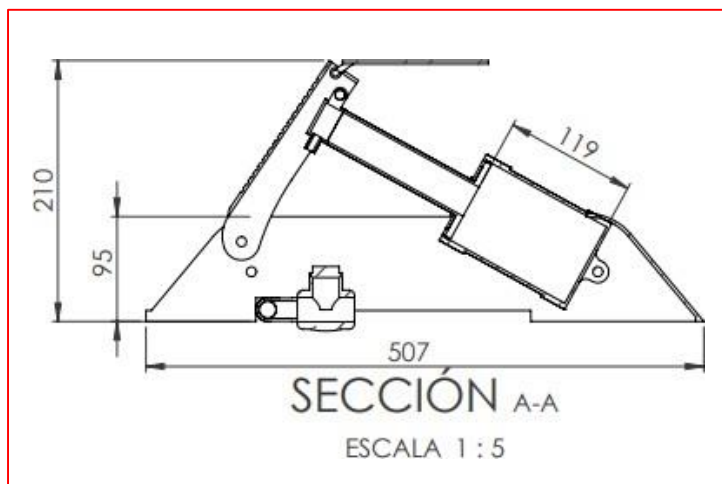
Variaciones en la humedad de entrada.

Errores de medición en presiones o temperaturas.

Pero, con los datos dados, la estimación ronda los 2 gramos de agua condensada al llenar el tanque bajo las condiciones indicadas

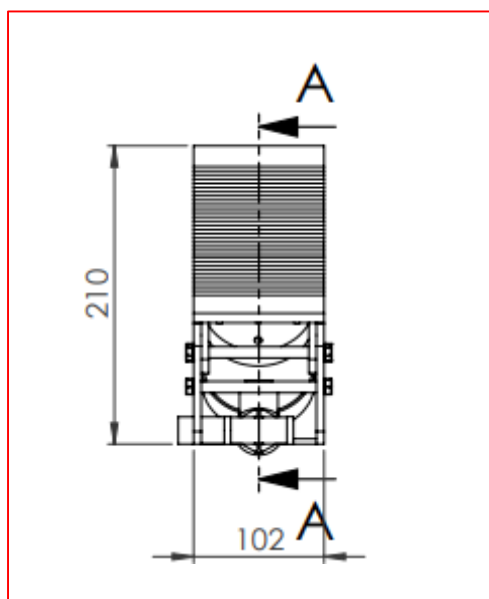
Anexo 6. Simulación y memoria de cálculo del mecanismo

La Estructura del mecanismo mecánico en mención será utilizada para la generación de aire comprimido aprovechando el paso de los vehículos ligeros sobre ello, este mecanismo servirá como base de un rompe muelle para soportar el peso de los vehículos que pasan sobre ello.

Figura 27*Dimensiones para simulación**Nota.* Fuente: Elaboración Propia

El soporte tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho: 102 mm
- Largo: 507 mm
- Altura 210 mm

Figura 28*Vista frontal de mecanismo**Nota.* Fuente: Elaboración Propia

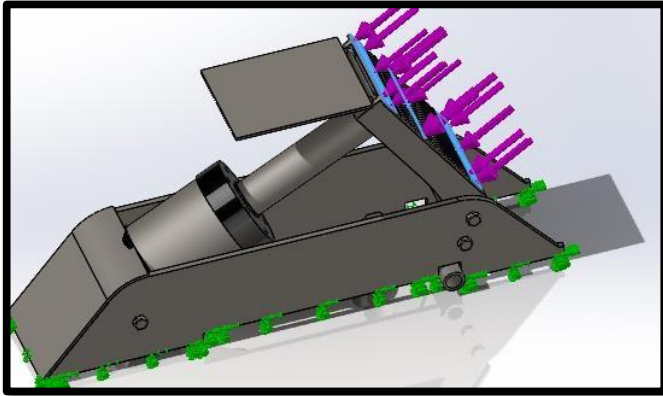
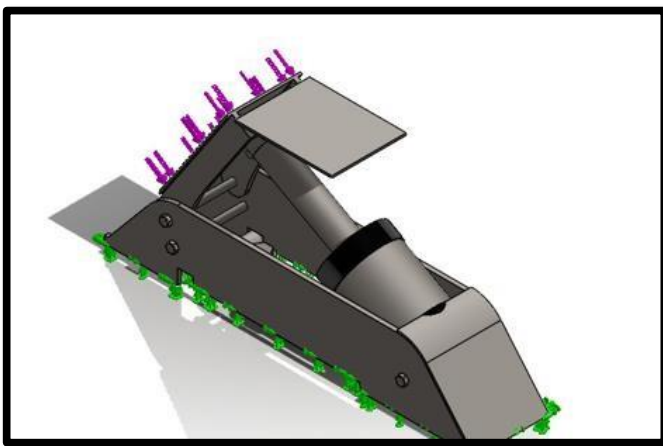
Los materiales a considerar en la simulación serán:

- Base: Acero al carbono ASTM A36
- Pistones: Acero inoxidable AISI 304
- Soportes: Acero al carbono ASTM A36

Cargas

- Carga Viva:

Peso que debería soportar un mecanismo 300 Kg

Figura 29*Peso que soporta el mecanismo**Nota. Fuente: Elaboración Propia***Figura 30***Apoyo fijo en base de la estructura**Nota. Fuente: Elaboración Propia***Diseño:**

El análisis considera una modelación mediante el software de elementos finitos.

Esfuerzos admisibles

Frente a las cargas aplicadas los esfuerzos que no deben sobrepasar los valores admisibles indicados en la siguiente figura 35.

Figura 31*Valores admisibles*

General Data	
Material Name and Display Color	A36 ■
Material Type	Steel ▼
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	2.836E-04	Kip, in, F ▼
Mass per Unit Volume	7.345E-07	

Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	29000.
Poisson, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	6.500E-06
Shear Modulus, G	11153.846

Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	36.
Minimum Tensile Stress, Fu	58.
Expected Yield Stress, Fye	54.
Expected Tensile Stress, Fue	63.8

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Deflexión vertical

Las deflexiones de los elementos estructurales deberán cumplir con los límites permisibles son los que se indican en la figura

36.

Figura 32*Criterios de deflexión máxima*

Tipo de Componente / Mecanismo	Criterio de Deflexión Máxima	Ejemplo (para L = 1000 mm)
Viga simplemente apoyada (cargas estáticas)	L/360	2.78 mm
Viga empotrada o continua	L/240	4.17 mm
Estructuras de precisión (equipos mecánicos delicados)	Valor absoluto: 0.5 – 1.0 mm	Depende del diseño y tolerancias exigidas
Componentes sometidos a cargas dinámicas	Se recomienda emplear análisis dinámicos y considerar un factor de seguridad adicional (por ejemplo, L/360 a L/240 en función del caso)	Variable según condiciones de operación

Nota. Fuente: Elaboración Propia**Factor de seguridad**

El factor de seguridad mínimo para la estructura deberá ser de 2 según lo indicado en la figura 37.

Figura 33*Factor de seguridad tabulado*

TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima*	
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 – 4	1.5 - 2	5 – 6	7

Nota. Fuente: Elaboración Propia

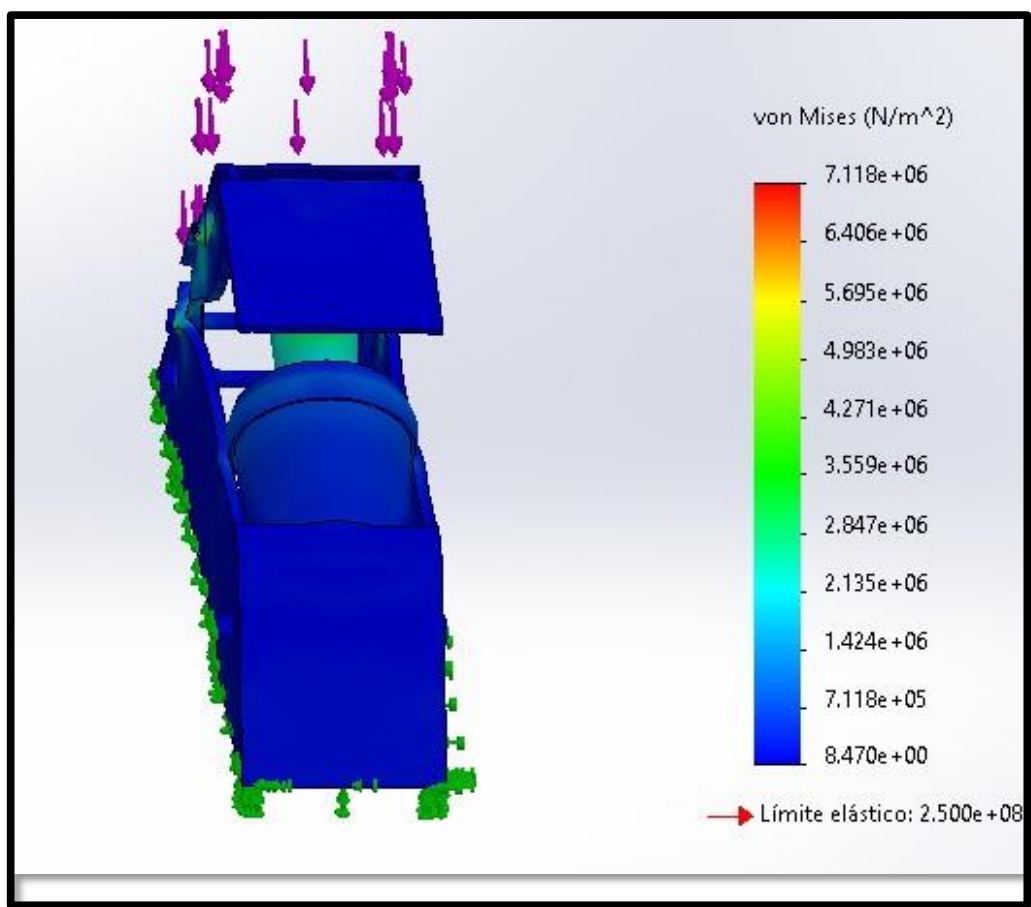
Resultados de la simulación:

- Esfuerzos:

Como se muestra la estructura está sometida a una tensión máxima de 7.11 ksi en zona crítica, siendo su límite elástico 25 ksi.

Figura 34

Tensión máxima



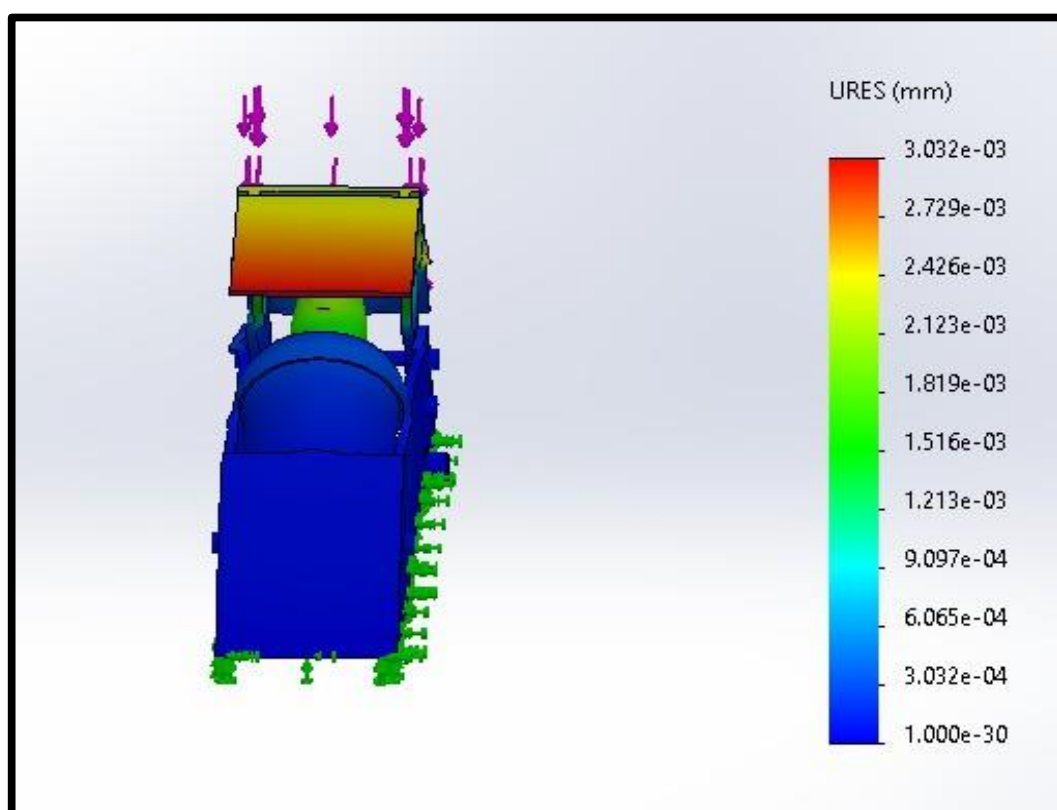
Nota. Fuente: Elaboración Propia

- Deflexión

Como se observa en los resultados la deflexión máxima en la viga obtenida es de 3.2mm el cual es menor que el permitido $Luz/360=507/240=1.40\text{mm}$.

Figura 35

Deflexión



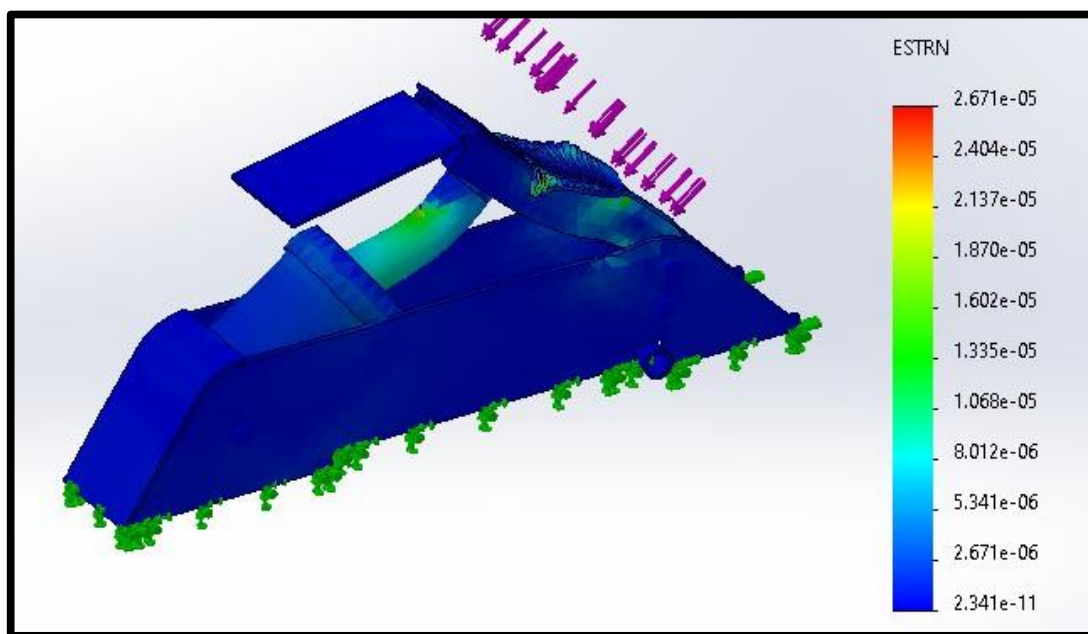
Nota. Fuente: Elaboración Propia

- Factor de seguridad

Como se observa en los resultados del factor de seguridad mínimo obtenido es de 2.341 el cual es mucho mayor a 2 según ítem 7.3.

Figura 36

Factor de seguridad



Nota. Fuente: Elaboración Propia

Resultado de la simulación:

Los resultados obtenidos confirman que la Estructura Soporte cumple la resistencia estructural con un factor de seguridad mínimo obtenido es de 2.4 para una carga total de 300 Kgf.

Luego de realizado el análisis del mecanismo mecánico modelado, se observó que posee la rigidez y resistencia suficiente para soportar la carga impuesta.

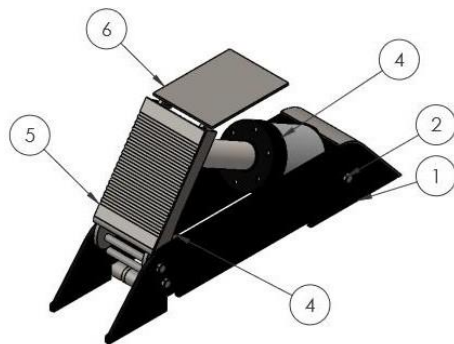
Anexo 7. Cálculo de los grados de los grados de libertad

Pasos para proceso de cálculo:

1. Identificar la base o eslabón fijo.
2. Contar cada parte rígida móvil como un enlace.
3. Contar las juntas entre los enlaces (R o P).
4. Aplicar la fórmula de Kutzbach.
5. Interpretar el resultado considerando la presencia de actuadores o restricciones adicionales.

Figura 37

Mecanismo



En el dibujo se observa un mecanismo accionado por un pistón acumulador de aire que mueve una palanca. Este tipo de mecanismo suele tener un solo actuador, lo que implica que tiene un solo grado de libertad.

Suposiciones:

- Enlace 1: base (ground)

- Enlace 2: palanca
- Enlace 3: biela
- Enlace 4: cuerpo del pistón
- Enlace 5: émbolo del pistón

Si el cilindro está fijo a la base (lo usual), entonces $n = 4$ y $j_1 = 4$. Aplicando la fórmula:

$$M = 3(4 - 1) - 2(4) = 9 - 8 = 1$$

Por lo tanto, el mecanismo tiene 1 grado de libertad.