



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS PARA SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS
AUTOMOTORES LIGEROS**

Autor(es):

Giacobbe De Barros, Fabrizio

Miranda Castillo, José Andrés

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego

Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS
PARA SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES
LIGEROS**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor(es):

Giacobbe De Barros, Fabrizio

C.I: 27.536.103

Miranda Castillo, José Andrés

C.I: 30.006.470

Tutor:

Ing. Giovanni Pizzella Pierro

San Diego, abril de 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros

Realizado por el (la) Br. Giacobbe De Barros, Fabrizio

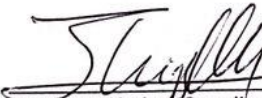
C.I. N° 27536103 cursante de la carrera de Ingeniería Mecánica


hace constar, después de haber analizado su contenido y oída la exposición oral, considera que el mismo ha sido:

APROBADO


NO APROBADO

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Giovanni Pizzella P
C.I.: 4455859


Jurado
Nombre: Luis Ortega
C.I.: 3476301




Jurado
Nombre: Milton Travieso
C.I.: 8840121

Fecha: 12/04/2024



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño y construcción de un banco de pruebas para
suspensión de vehículos automotores ligeros

Realizado por el (la) Br. Miranda Castillo, José Andrés

C.I. N° 30.006.470 cursante de la carrera de Ingeniería Mecánica

hace constar, después de haber analizado su contenido y oída la exposición oral, considera que el mismo ha sido:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Giovanni Pizzella P
C.I.: 4455959

[Signature]
Jurado
Nombre: Luis Ortega
C.I.: 3476801



[Signature]
Jurado
Nombre: Milton Traveso
C.I.: 8.840121

Fecha: 12/04/2024



UNIVERSIDAD
JOSÉ ANTONIO PÁEZ

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI-N-008-2023-2CR-TG

San Diego, 01 de diciembre de 2023

Ciudadano(s):
GIACOBBE DE BARROS, FABRIZIO
C.I.: 27536103
MIRANDA CASTILLO, JOSÉ ANDRÉS
C.I.: 30.006.470

Presente. -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería, en su reunión N° 17-2023 de fecha 3/11/2023, aprobó el proyecto de grado titulado:

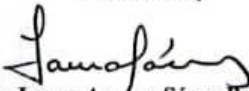
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES LIGEROS**

Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto al profesor Pizzella Pierro, Giovanni, titular de la cédula de identidad V-4455859.



Atentamente,


Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantía y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

Urb. Yuma II, calle 3, Municipio San Diego, estado Carabobo

(0241) 871.42.40 (Master)

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado primeramente a Dios, por permitirnos la oportunidad de estudiar y adquirir los conocimientos de esta carrera, y por siempre acompañarnos y ayudarnos en todo su transcurso. A nuestros padres, hermanos y familiares, por brindarnos siempre su apoyo para lograr nuestro título de ingeniería mecánica.

Dedicado a todos nuestros compañeros de estudio, con quienes tuvimos la dicha de compartir y disfrutar este transcurso de vida, y, además, apoyarnos mutuamente para seguir creciendo como personas y profesionales.

A todos los profesores que estuvieron presentes en nuestro camino de estudiantes, por brindarnos de sus conocimientos y apoyarnos para formarnos como grandes ingenieros profesionales y como buenas personas.

- **José Andrés Miranda Castillo**
- **Fabrizio Giacobbe De Barros**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer primeramente a Dios. Agradezco sus infinitas bendiciones que han llenado mi vida de amor, paz y oportunidades. Gracias, Dios mío, por la salud que me permite disfrutar de cada día. Por la fuerza que me impulsa a seguir adelante y por la resiliencia que me ayuda a superar los obstáculos.

A mi madre Mildred Castillo quien me brindó el apoyo incondicional desde siempre, guiándome siempre por el mejor camino, todos mis logros son gracias a ti madre, gracias, mamá, porque sin ti esto no fuese sido posible, gracias por ser ese pilar fundamental en mi vida, gracias por todo el amor y el cariño que me has brindado desde siempre.

A mi papa Eudys Miranda por ser mi guía como ingeniero, el mejor ejemplo que puedo tener, gracias por tu apoyo y sobre todo por tus enseñanzas que me ayudan a crecer cada día más como persona, mis logros también son tus logros.

A mis hermanas Oriana y Diana Miranda y a mis sobrinas Victoria y Tiana Hoyo, que me desean siempre lo mejor para mí y me apoyan incondicionalmente, gracias por acompañarme toda la vida y ser un pilar en ella.

A mis tías, Doris y Cruz Miranda por estar desde siempre presente en mi vida y tratarme como si fuera un hijo, gracias por sus cuidados de madre y guiarme siempre por buen camino.

A mi tía María Miranda por ser la persona más influyente en mi vida, por ser ese ejemplo a seguir como profesional, no tengo palabras para agradecer todo lo que has hecho por mí, gracias infinitamente tía.

A mis tíos Ramón y Mirla Miranda quienes han tenido influencia en mi vida, por sus consejos que fueron de aliento para no desistir en el camino, por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de este trayecto.

A mi primo Kevin Miranda quien ha sido mi compañero a lo largo de esta travesía, por ser mi hermano de lucha.

A todos los profesores de la escuela de ingeniería mecánica por compartir sus conocimientos con nosotros gracias Yndira Rodriguez, Alicia Yanez De Pizzella, Freddy Barragán, Donato Romanello.

A mi tutor Giovanni Pizzella, por ser nuestra guía en la elaboración de este proyecto y estar siempre atento.

Y por último a mi compañero Fabrizio Giacobbe quien se convirtió en mi hermano y juntos fuimos capaces de lograrlo, a mis compañeros Fabrizio Sforza, Gabriela Nieto, Manuel Tablante, Pedro Viso, Edgar Echeverría y Angélica Figueroa, con quienes compartí los mejores momentos.

- José Miranda

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por bendecirme, ayudarme y acompañarme en todo momento, guiarme en todos mis pasos y por siempre estar presente en mi vida y en cada oración para llevarme por su buen camino y lograr superar las adversidades que se me puedan presentar.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia por siempre estar conmigo en todo momento y me han ayudado a poder seguir adelante y a levantarme en cada caída de mi vida. A mi papá, Fabio Giacobbe, gracias por ser mi pilar como ingeniero en el transcurso de mi carrera de ingeniería, por brindarme todos tus conocimientos y ser de muchísimo aprendizaje en todo momento de mi vida. A mi mamá, Selene De Barros, gracias por ser mi pilar como madre, por siempre ayudarme a encontrar la manera de que pueda lograr mis objetivos y por darme ese aliento de motivación que siempre me da con todas sus acciones y enseñanzas. A mi hermana, Fabiana Giacobbe, por inspirarme, por sus enseñanzas como hermana mayor y profesional, por siempre estar conmigo y enseñarme cómo hacer las cosas de la mejor manera.

Quiero agradecer a mis abuelos maternos, José De Barros y Antonieta De Barros, por ser pilares en todo el transcurso de mi vida, obsequiarme sus enseñanzas, estar conmigo en todo momento y brindarme su ayuda y sus palabras de enseñanza. A mis abuelos paternos, por sus bendiciones siempre desde la tierra hasta en el cielo acompañándome en cada paso.

Agradezco también a mi primo Gianfranco Giacobbe, con quien he compartido muchísimo a lo largo de mi vida y que siempre ha estado junto a mí en todo momento, para ayudarme y apoyarme tanto en el transcurso de mi carrera como en el de mi vida.

Quiero agradecer también a mis tíos y primos, por siempre darme esa mano de familia para apoyarme en ella y seguir luchando por lograr mis metas.

También agradezco al señor Pietro Di Cera, Giacomo Pizzella y al personal de Manufactura y Talleres Llovera, C.A y Rollers Conveyors, por ayudarnos y brindarnos sus conocimientos para la elaboración de este trabajo de grado.

Agradezco también a mi novia Daisy Pannarale, por brindarme su ayuda, aconsejarme y estar presente conmigo en todo momento para el logro de este título.

Agradezco a todos los profesores de la escuela de ingeniería mecánica de la universidad, en especial a Luis Ortega, Yndira Rodriguez, Alicia Yanez De Pizzella, Freddy Barragán, Donato Romanello, por brindarnos su ayuda y conocimientos a lo largo del transcurso de la carrera.

Agradezco a mi tutor Giovanni Pizzella, por apoyarnos y brindarnos de su ayuda tanto en el transcurso de la carrera como para la elaboración de este trabajo de grado.

Por último, quiero agradecer a mi compañero, quien también forma parte de este trabajo, José Miranda, con quien tuve el placer y honor de haber compartido con él la realización de este trabajo de grado y compartir este logro que ambos nos propusimos, y también, a mis compañeros Pedro Viso, Fabrizio Sforza, Gabriela Nieto, Edgar Echeverría y Manuel Aguilar, con quienes más compartí este transcurso de mi carrera y tuve el honor de aprender y compartir mucho con ellos, deseándoles mis mayores éxitos en todo.

¡A todos los que estuvieron presentes, muchísimas gracias por todo y muchas bendiciones!

- **Fabrizio Giacobbe De Barros**

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
LISTA DE TABLAS.....	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	20
1.2 Formulación del Problema.....	22
1.3 Objetivos de la Investigación.....	23
1.3.1 Objetivo General.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
1.4 Justificación de la Investigación.....	23
1.5 Alcances.....	24
1.6 Limitaciones.....	24
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	26
2.2 Bases Teóricas.....	28
2.2.1 Diseño en Ingeniería Mecánica.....	28
2.2.2 Tensiones Combinadas.....	29
2.2.3 Fatiga.....	31
2.3 Teoría Central de la Investigación.....	33
2.3.1. Teoría de Energía de Distorsión o Teoría de Von Mises-Hencky.....	33
2.3.2. Criterio de Sodeberg.....	34
2.4 Bases Legales.....	35

2.4.1. ASTM E290 – 14a: Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility.....	35
2.4.2. ASTM A36/A36M – 19: Standard Specification for Carbon Structural Steel.....	35
2.4.3. ANSI B11 Series: Machine Safety Standards.....	35
2.4.4 ANSI Z535 Series: Series of Standards for Safety Signs and Tags.....	35
2.4.5 AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural Welding Code – Steel....	35
2.4.6 ASME Y14.5 – 2018: Dimensioning and Tolerancing.....	35
2.4.7 ISO 17025:2017.....	36
2.5 Definición de Términos.....	36

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Paradigma de la Investigación.....	38
3.2 Tipo de Investigación.....	38
3.3 Diseño de la Investigación.....	39
3.4 Nivel de la Investigación.....	39
3.5 Población y Muestra.....	40
3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	40
3.6.1 Observación Directa.....	40
3.6.2 Entrevista Estructurada.....	40
3.6.3 Revisión Documental.....	41
3.7. Técnicas de Análisis de Datos.....	41
3.7.1 Matriz FODA.....	41
3.7.2 Diagrama de Ishikawa.....	42
3.8. Validez de los Instrumentos.....	42
3.9. Fases Metodológicas.....	42
3.10. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	44

IV RESULTADOS

4.1 FASE I	
4.1. Señales de Problemas en el Sistema de Suspensión.....	45

4.1.1	Identificación de las necesidades del usuario.....	49
4.1.2	Estudio de las características más resaltantes de los bancos de prueba de suspensión de vehículos que se encuentran actualmente en el mercado.....	52
4.1.3	Estudio de las características de los bancos de prueba de suspensión en el mercado.....	55
4.2	FASE II	
4.2	Análisis de las Variables que Intervienen en la Comprobación Visual del Funcionamiento de la Suspensión de un Vehículo.....	56
4.2.1	Analogía del Diseño de un Sistema de Suspensión.....	58
4.2.2	Matriz FODA.....	60
4.2.3	Diagrama Causa y Efecto (Diagrama de Ishikawa).....	60
4.3	FASE III	
4.3	Selección del Tipo de Banco de Prueba de Suspensión del Vehículo....	62
4.3.1	Posibles Diseños para la Construcción del Banco de Prueba de Suspensión para Vehículos Automotores Ligeros.....	62
4.3.2	Restricciones a Soluciones.....	69
4.3.3	Criterios a Soluciones.....	71
4.4	FASE IV	
4.4	Elementos Constitutivos del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros.....	74
4.4.1	Dimensiones del Equipo.....	75
4.4.2	Dimensiones del Eje.....	76
4.4.3	Dimensiones de Rodamientos y Chumaceras.....	88
4.4.4	Selección del Motor.....	93
4.4.5	Dimensiones de las Planchas para la Estructura del Banco.....	95
4.4.6	Selección del Reductor.....	97
4.4.7	Diseño de Correas y Poleas.....	99
4.4.8	Análisis de Fuerza de Resorte.....	106
4.5	FASE V	
4.5	Análisis de Viabilidad, Económico, Ambiental y Técnico del Proyecto.....	107
4.5.1	Viabilidad Económica.....	107

4.5.2 Viabilidad Ambiental.....	113
4.5.3 Viabilidad Técnica.....	114
4.6 FASE VI	
4.6 Construcción del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros.....	115
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS.....	130
APÉNDICES.....	136

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Operacionalización de Variables.....	44
2	Resultados de entrevista al Ing. Fabio Giacobbe.....	50
3	Resultados de entrevista al Ing. Giacomo Pizzella.....	51
4	Comparación de los bancos de pruebas de suspensión existentes en el mercado.....	52
5	Matriz FODA.....	60
6	Restricciones a Posibles Soluciones.....	70
7	Análisis de Costo.....	113
8	Aspectos técnicos necesarios para llevar a cabo la propuesta planteada.....	114

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Suspensión de Doble Horquilla.....	20
2	Eje o árbol sometido a la acción de tensiones de corte, de compresión y de tracción simultáneamente.....	29
3	Diagrama del Círculo de Mohr.....	30
4	Construcción del Círculo de Mohr “resultante”, para un elemento de máquina sometido a un estado tridimensional de tensiones.....	31
5	Falla por fatiga en un perno debido a la flexión unidireccional repetida.....	32
6	Representación gráfica para un estado bidimensional de tensiones.....	34
7	Taller mecánico automotriz, Renova Solutions, Valencia, Carabobo...	49
8	Convergencia positiva y negativa de los carros.....	56
9	Ángulo de salida de las ruedas.....	57
10	Diversas posiciones y funcionamiento del muelle a un espacio.....	59
11	Diagrama de Ishikawa.....	61
12	Eje mecanizado con los brazos de biela y pistones.....	62
13	Banco superior con los seguidores para los cabezales del pistón.....	63
14	Banco de prueba de sistema de suspensión para vehículos automotores ligeros con un sistema de cigüeñal y pistón (PS ₁).....	63
15	Eje mecanizado con leva circular.....	64
16	Camisa externa de la leva circular.....	64
17	Eje con leva circular y camisa externa.....	65
18	Banco superior.....	65
19	Banco de pruebas con una sola leva circular (PS ₂).....	66
20	Eje mecanizado con levas para 2 ruedas.....	66
21	Ensamble de eje y motor.....	67
22	Ensamble completo de banco de prueba para dos ruedas (PS ₃).....	67
23	Eje mecanizado con levas.....	68
24	Ensamble del motor, base y eje.....	68

25	Ensamble completo del banco de pruebas con un árbol de levas (PS ₄)...	69
26	Modelo del banco de pruebas a construir, renderizado en SolidWorks.	75
27	Medidas del eje y ubicación de soportes.....	76
28	Diagrama de cuerpo libre – Eje.....	77
29	Diagrama de fuerza cortante, momento flector y momento torsor – Eje..	77
30	Catálogo ABB para la selección de motores eléctricos.....	78
31	Coeficientes para la ecuación del factor superficial $C_s = A(S_u)^b$	79
32	Factores de corrección de Marín C_d , C_{cf} y C_t	80
33	Factores de corrección de Marín C_a y C_c	81
34	Tabla de la Constante de Neuber para aceros (fuente: Norton ^[2]).	82
35	Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha ranurada a flexión.....	83
36	Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha ranurada a torsión.....	83
37	Análisis Estático.....	86
38	Diagrama de fuerza cortante.....	86
39	Diagrama de momento torsor	87
40	Diagrama de factor de seguridad	87
41	Dimensiones para la selección de rodamientos.....	88
42	Dimensiones para la selección de rodamientos.....	89
43	Dimensiones para la selección de rodamientos de bola.....	92
44	Análisis estático – Rampa.....	96
45	Análisis estático – Soporte de rampa y base.....	96
46	Análisis estático – Base.....	97
47	Coeficientes de servicio de reductores de velocidad.....	98
48	Selección de modelo del reductor de velocidad con ejes a 180°.....	98
49	Modelo del motorreductor PV con brida	99
50	Factor de servicio, K	100
51	Selección de la sección de correa	101
52	Longitudes nominales.....	103
53	Factor de corrección por longitud (F_{cl}).....	103
54	Factor de corrección del arco de contacto (F_{cA}).....	104
55	Prestaciones base de las correas trapezoidales (P_b).....	105
56	Análisis de fuerza a resorte (SolidWorks).....	106
57	Motor eléctrico trifásico de 3 HP, 1715 RPM, 4 Polos.....	107

58	Eje de acero 1045.....	108
59	Rueda excéntrica de Acero 1045.....	108
60	Chumacera de puente 1 ¼”, P209, ESK.....	109
61	Planchas de acero negro lisas.....	110
62	Plancha de hierro acero estriada.....	110
63	Tornillo G8.....	111
64	Camisa de Rodamiento con Leva.....	111
65	Rodamiento.....	112
66	Motorreductor requerido (modelo PV con brida).....	112
67	Torno Metal San francisco SRL, Maracay, Aragua.....	116
68	Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.....	116
69	Interior de Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.....	117
70	Rollers Conveyors S.A.....	117
71	Puntos de 5 mm de distancia para la perforación de la rueda excéntrica..	118
72	Perforación de la rueda excéntrica.....	118
73	Guillotina de Manufactura y Talleres Lloverá, C. A.....	119
74	Cortado de láminas con guillotina.....	119
75	Plasma CNC, Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.....	120
76	Corte de láminas con plasma CNC.....	120
77	Soldado del banco de pruebas.....	121
78	Armado del banco.....	121
79	Base interna del banco de pruebas.....	122
80	Ensamble de las chumaceras, eje con rueda excéntrica, el rodamiento y la camisa del rodamiento.....	122
81	Parte inferior del banco superior.....	123
82	Bocinas y sujetadores.....	124
83	Banco de pruebas en proceso de ensamblaje.....	124
84	Instalación de las poleas, correa, motor y reductor.....	125
85	Banco de pruebas ensamblado.....	125
86	Construcción del Banco de Pruebas finalizado.....	126

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Diagrama para la selección de la viscosidad.....	90
2	Diagrama para la selección del tipo de lubricación.....	91

LISTA DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PP.
1	Ponderación de Criterios.....	72
2	Ponderación de las soluciones respecto a C ₁ . (Menor costo de fabricación).....	72
3	Ponderación de las soluciones respecto a C ₂ . (Mayor seguridad de uso).....	72
4	Ponderación de las soluciones respecto a C ₃ . (Mayor facilidad de instalación y mantenimiento).....	73
5	Ponderación de las soluciones respecto a C ₄ . (Mejor mecanismo para mayor durabilidad).....	73
6	Ponderación de las soluciones respecto a C ₅ . (Mayor facilidad de construcción).....	73
7	Ponderación final de las soluciones.....	74



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES LIGEROS

Autores: Fabrizio Giacobbe De Barros
José Andrés Miranda Castillo
Tutor: Giovanni Pizzella Pierro
Fecha: 08/03/2024

RESUMEN

Este proyecto busca diseñar y construir un banco de pruebas de suspensión para abordar el deterioro progresivo de los sistemas de suspensión de vehículos, afectados por el desgaste y las condiciones adversas de las carreteras. Se llevará a cabo un estudio integral que incluirá teorías fundamentales y normativas esenciales en el diseño y construcción de bancos de pruebas de suspensión. Desde aspectos geométricos hasta consideraciones sobre materiales y comportamiento mecánico, el proyecto garantizará la conformidad con normativas aplicables. La incorporación de simulaciones con software como SOLIDWORKS permitirá validar y optimizar el diseño del banco de pruebas, asegurando su eficacia y eficiencia en el análisis de la suspensión de vehículos livianos. En este trabajo el tipo de investigación es factible, ya que se busca diseñar y construir un banco de pruebas que permita la inspección de la suspensión de vehículos automotores ligeros para corroborar el funcionamiento de dichos sistemas. Además, esta investigación tiene un diseño de investigación experimental, ya que el propósito es someter un vehículo ligero a una determinada prueba, que en este caso es la prueba de suspensión. En cuanto al nivel de investigación, se consideró una investigación de nivel evaluativo, ya que se aplican procedimientos científicos para acumular evidencia válida y fiable. Tomando como referencia la línea de investigación, este trabajo es realizado bajo las ciencias cognitivas y aplicadas, siendo este un trabajo de ingeniería mecánica, utilizamos conocimientos científicos y estudios de la cognición de manera integrada a través de disciplinas teóricas y empíricas, para resolver un problema práctico.

Descriptor: Banco, pruebas, suspensión.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TEST BENCH FOR SUSPENSION OF LIGHT MOTOR VEHICLES

Authors: Fabrizio Giacobbe De Barros
José Andrés Miranda Castillo
Tutor: Giovanni Pizzella Pierro
Date: 03/08/2024

ABSTRACT

This project seeks to design and build a suspension test bed to address the progressive deterioration of vehicle suspension systems, affected by wear and tear and adverse road conditions. A comprehensive study will be carried out that will include fundamental theories and essential regulations in the design and construction of suspension test benches. From geometric aspects to considerations about materials and mechanical behavior, the project will guarantee compliance with applicable regulations. The incorporation of simulations with software such as SOLIDWORKS will allow the design of the test bench to be validated and optimized, ensuring its effectiveness and efficiency in the analysis of the suspension of light vehicles. In this work, the type of research is feasible, since it seeks to design and build a test bench that allows the inspection of the suspension of light motor vehicles to corroborate the operation of said systems. Furthermore, this research has an experimental research design, since the purpose is to subject a light vehicle to a certain test, which in this case is the suspension test. Regarding the level of research, it was considered an evaluative level research, since scientific procedures are applied to accumulate valid and reliable evidence. Taking the line of research as a reference, this work is carried out under cognitive and applied sciences, this being a work of mechanical engineering, we use scientific knowledge and studies of cognition in an integrated manner through theoretical and empirical disciplines, to solve a problem. practical.

Descriptors: Bench, tests, suspensión.

INTRODUCCIÓN

Se llama sistema de suspensión al conjunto de componentes mecánicos de un vehículo que actúan entre el chasis y las ruedas. Este sistema tiene como finalidad absorber las desigualdades que presenta el terreno para que la rueda siempre esté en contacto con el asfalto para conseguir mayor control, adherencia y estabilidad en el coche. Es importante que el sistema de suspensión tenga elasticidad y amortiguación. La elasticidad para evitar los golpes secos en el chasis por irregularidades del terreno y la amortiguación para impedir que el excesivo balanceo de los elementos de la suspensión se transmita al resto del vehículo.

La suspensión existe desde que se comenzaron a usar carretas, sobre todo, porque los caminos en las ciudades eran empedrados. A principios del siglo XIX (aproximadamente en 1802), antes del vehículo automotor, se comenzó a tratar de reducir aún más los impactos en los carruajes. Se acolchonaron los asientos, y se pusieron resortes en el pescante (o asiento) del cochero. Después, como lo anterior no era suficiente, se decidió tener suspendida la cabina del carruaje. Esto se hacía mediante correas de cuero que estaban aseguradas a unos soportes de metal.

El presente trabajo de grado plantea desarrollar una investigación con el objetivo de diseñar y construir un banco de pruebas de suspensión para vehículo automotores ligeros que funcione mediante un sistema mecánico. Dicho banco de pruebas busca brindar la inspección de la suspensión del vehículo para corroborar si su funcionamiento se encuentra en un estado deteriorado u óptimo, a través de las observaciones hechas por el operador. También se ha tratado de realizar un análisis de su comportamiento en base a métodos de modelación y análisis, antes de introducirnos al objetivo principal de este trabajo, el cual mencionamos anteriormente.

El presente trabajo de investigación se dividió en varios capítulos, los cuales son importantes para solución del problema planteado. Tenemos el capítulo I, el cual es el planteamiento del problema, donde se habló de la problemática y por qué debe ser acatada, además, se plantearon los objetivos generales y específicos, así como los alcances y limitaciones de dicho trabajo.

En el capítulo II, el marco teórico, se presentan la fundamentación teórica de este proyecto de investigación y los antecedentes de la misma, con el fin de proveer las bases necesarias en donde se construirá este proyecto.

El capítulo III, marco metodológico, establece la estructura de nuestra investigación y los métodos de cómo se llevó a cabo el estudio, además de implantarse aquí la población y la muestra, así como también las fases de la investigación.

Por último, tenemos el capítulo IV, que son los recursos y resultados, donde se explican los cálculos hechos, además de, hablar de los equipos y materiales necesarios para lograr los objetivos de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento Del Problema

El correcto funcionamiento de las suspensiones de los vehículos es esencial para su seguridad, comodidad y rendimiento. Un sistema de suspensión eficaz debe mantener un contacto óptimo entre las ruedas y la carretera, brindar a los pasajeros un viaje suave y cómodo y contribuir a la estabilidad y el manejo del vehículo. Sin embargo, en muchos casos, la configuración y los ajustes de la suspensión no se optimizan lo suficiente durante el proceso de fabricación, lo que puede dar lugar a problemas como el desgaste prematuro de los neumáticos, la falta de estabilidad en las curvas y el bajo confort de marcha. (Ver figura 1).

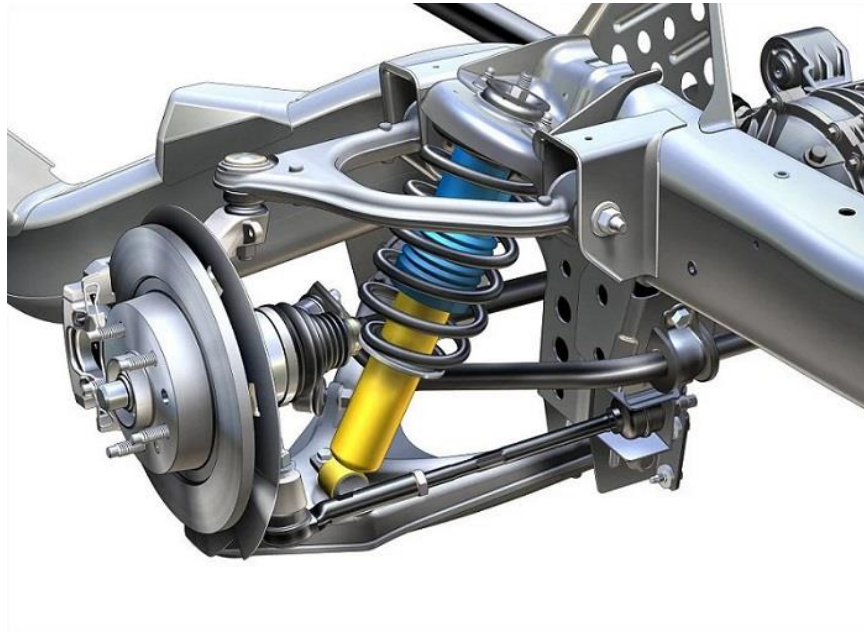


Figura 1: Suspensión de Doble Horquilla.
Fuente: Muñoz, J. (2023).

En un vehículo según Mitsubishi Motors, (2019):

“El sistema de suspensión está compuesto principalmente de tres componentes: amortiguadores, resortes y puntales. No solo proporcionan un viaje suave y confortable, ayudan a controlar ciertas cualidades de conducción. Sin los amortiguadores y puntales, un vehículo rebotaría por el camino, haciendo la conducción extremadamente difícil, sin mencionar, peligrosa. Estos componentes son cruciales para el funcionamiento adecuado del vehículo, están diseñados para ayudar a mantener las llantas en el camino y que el conductor conserve el control del vehículo.”

Desde la invención de los primeros vehículos, los principales fabricantes han dedicado un encomiable esfuerzo a desarrollar nuevos sistemas que aporten mayor seguridad y comodidad a los pasajeros.

Al principio los vehículos no llevaban amortiguadores y los elementos elásticos utilizados tienden a rebotar, con lo que las ruedas se despegan y pueden llegar a hacer saltar el coche. Evitar esto es la misión de los amortiguadores y resortes que soportan todo el peso del vehículo y a su vez permite mantener su centro de gravedad para un mejor equilibrio estático y dinámico. Uno de los sistemas en los que se han realizado avances muy importantes es en el sistema de suspensión, el cual no solo trata de evitar que las vibraciones originadas por la forma irregular del camino, se transmitan a los pasajeros que se encuentran dentro del vehículo, sino que también debe proporcionar estabilidad a lo largo de toda la marcha del vehículo por cualquier tipo de terreno, sin olvidar el confort del pasajero.

A menudo se puede saber si hay algún problema con el sistema de suspensión de un vehículo automotor por la forma en que se siente al conducir, pero puede ser difícil evaluar cualquier problema sin levantar el vehículo e inspeccionar visualmente los componentes de la suspensión por el propio dueño. Hay un número de diferentes tipos de suspensiones que se pueden encontrar en un vehículo, pero algunas cosas a buscar son bastante universales. Con el tiempo, los componentes de un sistema de suspensión pueden desgastarse. Aunque la inspección visual de los componentes a menudo permite saber si están comprometidos, la manera más fácil de determinar si el vehículo tiene un problema de suspensión es probando la misma a sabiendas que el mismo se siente extraño al conducirlo.

Los amortiguadores juegan un papel crucial en la dinámica de un vehículo y juegan un papel crucial en todo el mundo y en América del Sur. Diseñados para controlar el movimiento de las ruedas y absorber terrenos irregulares, estos componentes son esenciales para una conducción segura, cómoda y eficiente. Sin embargo, la realidad de los amortiguadores varía dependiendo de una variedad de factores, desde los avances tecnológicos globales hasta las condiciones específicas de América del Sur. Los fabricantes de todo el mundo están constantemente innovando y mejorando los sistemas de suspensión para brindar la mejor experiencia de manejo posible, mientras que América del Sur tiene diversidad geográfica y problemas de carreteras y mantenimiento que requieren consideraciones especiales.

A escala mundial, el problema de la falta de mantenimiento adecuado de las suspensiones es innegable y se ve agravado por la urgente necesidad de mejoras tecnológicas para garantizar una conducción eficiente y cómoda. No garantizar el funcionamiento óptimo de estos componentes, independientemente de su ubicación, supone un riesgo importante para la seguridad vial y la calidad de la experiencia de conducción. De acuerdo con las instrucciones del fabricante, los amortiguadores deben inspeccionarse cuidadosamente con regularidad y reemplazarse de inmediato si muestran signos evidentes de desgaste o daño. Resolver este

problema no solo mantiene la estabilidad del vehículo, sino que también desempeña un papel fundamental en la reducción del desgaste prematuro de otros componentes clave del sistema de suspensión.

La falta de un mantenimiento adecuado de los amortiguadores se ha convertido en un problema aún más apremiante en América del Sur, exacerbado por las diferentes condiciones geográficas y las barreras regionales. En áreas donde los vehículos están expuestos con frecuencia a terrenos irregulares y malas condiciones de la carretera, es imprescindible realizar un mantenimiento cuidadoso de los amortiguadores. En algunas regiones, las piezas de repuesto y el mantenimiento son limitados, lo que enfatiza aún más la importancia de las inspecciones regulares de desgaste, corrosión y fugas. Cuando sus amortiguadores se mantienen en óptimas condiciones, los conductores tienen la confianza para conducir con seguridad y equilibrio y adaptarse a los diversos desafíos.

Actualmente, la mayoría de los talleres y centros de servicio automotriz no cuentan con un equipo dedicado para evaluar y ajustar las suspensiones de vehículos ligeros. Esto limita la capacidad de los técnicos y mecánicos para diagnosticar de manera efectiva los problemas de suspensión y brindar soluciones personalizadas a los conductores. En lugar de realizar pruebas precisas, se utilizan enfoques subjetivos que pueden llevar a diagnósticos inexactos y reparaciones ineficientes. Como resultado, los conductores experimentan problemas de calidad de conducción, desgaste prematuro de neumáticos y componentes de suspensión, y un mayor riesgo de accidentes.

En un entorno económico en constante cambio, se evidencia la carencia de una infraestructura adecuada para pruebas de suspensión. Esta limitación no solo afecta los costos de mantenimiento para los conductores, sino que también presenta desafíos para la competitividad de la industria automotriz local y su adaptación a las demandas de un mercado global en constante evolución. La necesidad de abordar esta falta de infraestructura se vuelve crucial para mejorar la calidad y la seguridad de la experiencia de conducción, así como para reducir los gastos de mantenimiento y aumentar la eficiencia en la industria automotriz local.

1.2 Formulación Del Problema

¿Cómo se puede realizar un análisis rápido y eficiente de los componentes del sistema de suspensión de vehículos automotores ligeros?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y Construir un Banco de Pruebas para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar señales de problemas en el sistema de suspensión.
- Analizar las variables que intervienen en la comprobación visual del funcionamiento de la suspensión de un vehículo.
- Seleccionar el tipo del banco de prueba de suspensión del vehículo.
- Diseñar los elementos constitutivos del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros.
- Realizar un análisis de viabilidad, económico, ambiental y técnico del proyecto.
- Construir el Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros.

1.3 Justificación de la Investigación

Es esencial aumentar la conciencia de los conductores, implementar programas de mantenimiento preventivo y asegurar el acceso a piezas de repuesto de calidad, con el objetivo de garantizar una conducción segura, cómoda y duradera en una amplia variedad de condiciones de manejo y terreno en la región. El problema radica en la falta de un mantenimiento adecuado de las suspensiones de vehículos, generando repercusiones significativas en la seguridad vial y la experiencia de conducción. La justificación de abordar la problemática de mantenimiento inadecuado de las suspensiones de vehículos se basa en múltiples dimensiones. Desde la perspectiva económica, un sistema de suspensión funcional reduce los costos a largo plazo al prevenir el desgaste prematuro de neumáticos y otros componentes, además de disminuir los gastos asociados con accidentes viales.

Socialmente, garantizar una experiencia de conducción segura y cómoda beneficia a conductores y pasajeros al reducir el riesgo de lesiones y mejorar la confianza en la vía. Esta iniciativa beneficiaría a la comunidad en general al contribuir a la reducción de accidentes de tráfico y, por ende, a la carga financiera y emocional que estos representan. En el ámbito académico, abordar esta problemática ofrece oportunidades para la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la ingeniería automotriz y la tecnología de

suspensión, enriqueciendo el conocimiento y fomentando la colaboración entre la industria y las instituciones educativas.

1.5 Alcances

El alcance de una investigación indica el resultado de lo que se obtendrá a partir de ella y condiciona el método que se seguirá para obtener dichos resultados, por lo que es muy importante identificar acertadamente dicho alcance antes de empezar a desarrollar la investigación. Arias (2012) menciona, “El nivel o alcance se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto del estudio”. (p.23)

En línea con este objetivo, se contempla la elaboración de un banco de pruebas de suspensión de diseño simplificado y de implementación ágil, destinado a agilizar un análisis visual eficaz y rápido. Concebido con un enfoque práctico, este banco de pruebas facilitará la inspección visual e intuitiva de los elementos del sistema de suspensión. Con un montaje sencillo, se pueden simular las condiciones de carga y movimiento para la identificación temprana de signos de desgaste, irregularidades o ineficiencias del sistema. La fase de diseño resultante será presentada y sometida a un análisis exhaustivo, allanando el camino para su posterior implementación y construcción. El análisis rápido y la evaluación de comportamiento permitirán una detección temprana de posibles problemas y un diagnóstico más certero. Este enfoque simplificado del banco de pruebas busca optimizar los procesos de evaluación y contribuir a la consecución de un sistema de suspensión mejorado que cumpla con los criterios de seguridad, confort y rendimiento en diversas áreas geográficas.

1.6 Limitaciones

Las limitantes corresponden a aquello que pueda restringir el hacer generalizaciones a partir de los resultados, o son el resultado de los retos no anticipados que surgieron durante el estudio. Según Arias (2012), las limitaciones “Son obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo del estudio y que escapan del control del investigador”. (p.106)

A pesar de los ambiciosos alcances establecidos para el proyecto de elaboración de un banco de pruebas de suspensión de diseño simplificado y ágil, existen algunas limitaciones que deben ser consideradas cuidadosamente. En primer lugar, la simplicidad y agilidad del diseño pueden traducirse en limitaciones en la capacidad de realizar pruebas exhaustivas y detalladas de suspensiones en condiciones extremas o situaciones específicas. La versatilidad del banco de pruebas podría ser reducida en comparación con sistemas más complejos y especializados.

Además, la eficacia del análisis visual e intuitivo puede depender en gran medida de la destreza y experiencia del personal encargado de las inspecciones, lo que podría introducir variabilidad en los resultados. Otra limitación potencial se relaciona con la representación precisa de las condiciones del mundo real en las simulaciones de carga y movimiento, lo que podría requerir ajustes y calibraciones periódicas para mantener la precisión.

Además, el enfoque simplificado del banco de pruebas podría no abordar todos los posibles problemas de suspensión en todos los tipos de vehículos y escenarios de conducción, lo que podría limitar su utilidad en ciertos contextos. Por último, es importante tener en cuenta que, si bien el análisis visual rápido y la evaluación de comportamiento pueden detectar problemas evidentes, pueden no ser suficientes para identificar problemas más sutiles o subyacentes en el sistema de suspensión. Por lo tanto, es esencial mantener un equilibrio entre la simplicidad y la capacidad de detección en la implementación de este banco de prueba.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Los antecedentes son todos aquellos trabajos de investigación que preceden al que se está realizando, pero que además guarda mucha relación con los objetivos del estudio que se aborda. Tamayo (2004) define los antecedentes como el proceso que "consiste en el análisis de investigaciones iguales o similares relacionadas en nuestro campo de estudio" (p. 99). Dentro de los antecedentes que brindarán los aportes necesarios para el desarrollo del trabajo especial de grado, se tienen los siguientes:

En primer lugar, Carabias Acosta, E. (2022), realizó un trabajo de grado para optar por el doctorado en Ingeniería Mecánica y Eficiencia Energética titulado **“Metodología experimental para la identificación de los parámetros de suspensión en vehículos automóviles”** presentado en la Universidad De Málaga. Este trabajo de grado se enfoca en el desarrollo de un método de evaluación de los componentes del sistema de suspensión en vehículos automóviles, sin desmontaje de los mismos, cuyos resultados pueden utilizarse para determinar, cuantitativa y cualitativamente, la incidencia en la seguridad que tiene su grado de deterioro. El estudio se centra en el amortiguador, principal causante del funcionamiento incorrecto del sistema.

Este trabajo brinda el desarrollo de un método de evaluación de los componentes del sistema de suspensión en vehículos automóviles sin tener que proceder al desmontaje de ninguno de sus elementos, para comprobar el estado del amortiguador, además, también brinda la posibilidad de implementar los parámetros obtenidos en un modelo de simulación dinámica vehicular que permita determinar la incidencia en la seguridad que tiene el grado de deterioro de los componentes del sistema de suspensión del vehículo estudiado.

Así mismo, Cáceres Mojica, K. S. (2021), realizó un trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, titulado **“Banco de Pruebas para el Diagnóstico de Amortiguadores Neumáticos y de Fricción Seca”** presentado en la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Este trabajo de grado tuvo como objetivo general, construir un banco de pruebas que permita caracterizar el estado de amortiguadores neumáticos y de fricción seca mediante la simulación de las condiciones normales de uso y la adquisición de datos en tiempo real.

Este antecedente es útil para nuestro proyecto de investigación, ya que se realizan los estudios e investigaciones para conocer cuales componentes le convienen más al proyecto, tales como estructura y el material, etc. Además, se realizan los diseños de modelado y planos correspondientes a cada una de las piezas del banco de pruebas en el software SolidWorks®, los cuales nos pueden servir como modelos a la hora de diseñar las piezas que utilizaremos en la presente investigación.

También, Escobedo Hinostraza, V. A, y Alvarez Omaza, O. J. (2019), realizaron una tesis para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico, que tiene como nombre **“Diseño de un simulador de sistemas de suspensión activa para la validación de técnicas de control orientada a sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas”** presentado en la Universidad Tecnológica de Perú. Se hizo con la finalidad de diseñar un simulador de sistemas de suspensión, basado en el sistema Mc-Pherson, que permita la validación experimental de técnicas de control orientadas a sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas.

El trabajo de Escobedo y Alvarez, ayuda a cómo se realizan los distintos cálculos, como el desarrollo del sistema de control realizando el modelamiento cinemático y dinámico del sistema y también el desarrollo del diseño mecánico mediante la selección de componentes. Además, se diseña el mecanismo de control del motor que genera la perturbación y del motor de la suspensión, y también busca integrar los sistemas del simulador del sistema de suspensión.

Otro antecedente relacionado con los sistemas de bancos de pruebas de suspensión, es el trabajo realizado por Alamo-Viera, M. (2019), quien desarrolló un trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico titulado **“Diseño y Construcción de un Banco de Ensayo de Amortiguadores”** presentado en la Universidad de Piura. Este trabajo se realizó con la finalidad de construir un banco de ensayo de amortiguadores didáctico y funcional en el Laboratorio de Mecánica de la Universidad de Piura, con el propósito sentar las bases para un análisis de sistemas de suspensión con amortiguadores más complejos y modernos, capaces de variar su rigidez o dureza para ofrecer un comportamiento más efectivo frente a distintas condiciones geográficas, sin alejarse del compromiso entre estabilidad y confort del vehículo.

Dicho trabajo de grado contribuye de manera directa a la investigación presente, ya que se estudia el diseño y construcción de un banco de ensayo de amortiguadores, además, de que buscaba sentar las bases para el análisis de sistemas de suspensión con amortiguadores avanzados, capaces de ajustar su rigidez en respuesta a distintas condiciones geográficas, manteniendo un equilibrio entre estabilidad y confort del vehículo. Además, se realizó una revisión de sistemas de suspensión y materiales inteligentes utilizados en la industria, seguida

por el desarrollo de un modelo matemático y su simulación en SIMULINK de MATLAB. El resultado final fue un banco de ensayo funcional que permitía obtener la curva característica del amortiguador, en particular su constante de amortiguación.

Por último, los autores Aduco, M. E, y Magri, F. D. (2018), realizaron un trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería Electromecánica, que tiene como nombre **“Banco de Pruebas para Amortiguadores”** presentado en la Universidad Tecnológica Nacional. La investigación de Aduco y Magri se centra en el diseño de un banco de prueba de amortiguadores mecánico, automatizado y con una instalación eléctrica y electrónica, además del cómputo de materiales y presupuesto, para así elaborar un plan de construcción del mismo.

Esta investigación brinda información relacionada con el diseño/ingeniería, cálculo y presupuestado de una máquina de ensayos para amortiguadores de suspensiones vehiculares. Con ésta se busca aumentar la productividad y calidad de las tareas del mecánico/preparador de la ciudad de Herrera, ubicada en la provincia de Entre Ríos, República Argentina, Diego Fornasari, en lo relacionado a suspensiones de motos de competición ya sea motocross, enduro o pista. Además, permitirá generar un registro de los elementos ensayados. Su interés es someter a los amortiguadores y/o conjuntos muelle-amortiguador, dentro de su taller, a las mismas o similares condiciones a las que están expuestos en carrera, sin tener que montarlos en la moto e ir a probar a un circuito.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Diseño en Ingeniería Mecánica

La esencia de la ingeniería mecánica reside en aprovechar las leyes y recursos naturales para el beneficio humano, focalizándose en la investigación, diseño, desarrollo y aplicación de máquinas. El diseño mecánico implica un proceso creativo que abarca la creación, dimensionamiento, selección de materiales y funcionamiento de máquinas para cumplir con funciones específicas. En el ámbito profesional, la ingeniería busca resolver variados problemas prácticos, donde la solución exitosa indica la correcta aplicación de conocimientos teóricos, empíricos y criterio ingenieril.

A medida que la base científica crece, el diseño se enfoca en el esfuerzo, deformación, resistencia de materiales y fenómenos superficiales, como el desgaste por fricción. La seguridad en el diseño es esencial para prevenir riesgos y fallas que podrían resultar en lesiones y pérdidas en humanos y materiales. La consideración del impacto ambiental, influenciado por las condiciones atmosféricas de trabajo, es crucial para gestionar el desgaste de los dispositivos.

Además, aspectos sociológicos, como cumplir con requisitos legales y garantizar condiciones laborales adecuadas, añaden capas de complejidad al proceso de diseño e interacción con los dispositivos.

2.2.2 Tensiones Combinadas

En componentes mecánicos, es común enfrentarse a combinaciones de cargas que generan esfuerzos normales y cortantes simultáneamente. En ciertas áreas de la pieza, estos esfuerzos pueden combinarse, dando lugar a esfuerzos principales y esfuerzos cortantes máximos. Para prever la posibilidad de falla y comprender las condiciones en las que esta ocurre, se recurre a teorías de falla, que son explicaciones o intentos de explicación para identificar cuándo y cómo un elemento mecánico podría fallar.

La primera teoría abordada es la teoría de la tensión normal máxima, que establece que la falla de un material y de la pieza se produce cuando una de las tensiones principales es igual o supera el valor de la resistencia de fluencia del material utilizado en la pieza. La relevancia clave de esta teoría radica en su capacidad para realizar comparaciones con las condiciones reales de falla.

Si se considera un elemento de máquina sometido a un sistema de carga que induce en él un estado “complejo” pero, “bidimensional” de tensiones. Por ejemplo, un eje o árbol como el de la figura 2. En él se tienen, tensiones de corte τ , producto de la acción directa de las cargas P y W y del momento torsor M_T ; tensiones de tracción σ_{trac} por acción de la carga axial Q ; y de tracción σ_{trac} y compresión σ_{comp} por el efecto de las cargas transversales y de las reacciones en los apoyos.

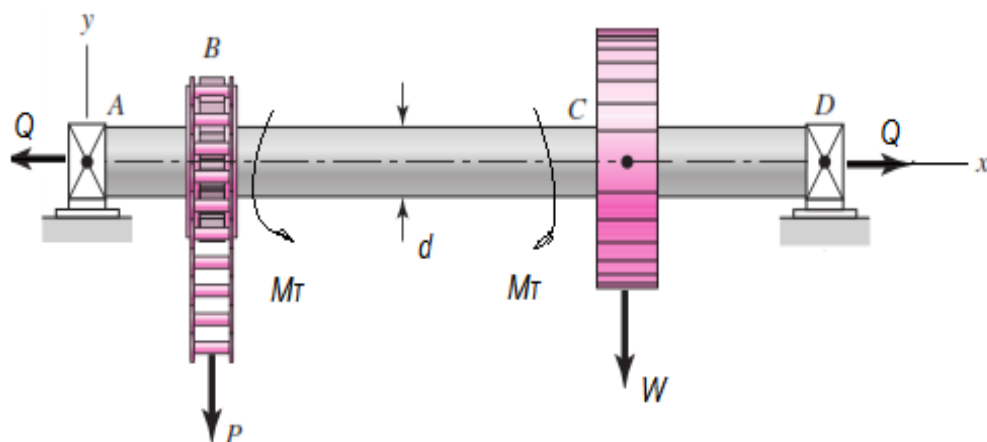


Figura 2: Eje o árbol sometido a la acción de tensiones de corte, de compresión y de tracción simultáneamente.

Fuente: Tassoni D. 2007.

El análisis de tensiones combinadas implica calcular y evaluar las tensiones totales resultantes de las diferentes cargas que actúan sobre un componente. Esto se hace generalmente utilizando métodos de análisis de esfuerzos y teoría de elasticidad. La teoría de esfuerzos de Mohr es a menudo utilizada para visualizar y calcular las tensiones en situaciones de tensiones combinadas. Esta teoría es una herramienta valiosa para analizar tensiones combinadas, utiliza un círculo de Mohr en el espacio de esfuerzos para representar gráficamente las tensiones principales y las tensiones de corte en un punto dado. En un componente mecánico específico con un estado tridimensional genérico de tensiones, la representación gráfica de estas tensiones se ilustra mediante un círculo de Mohr. (Ver figura 3).

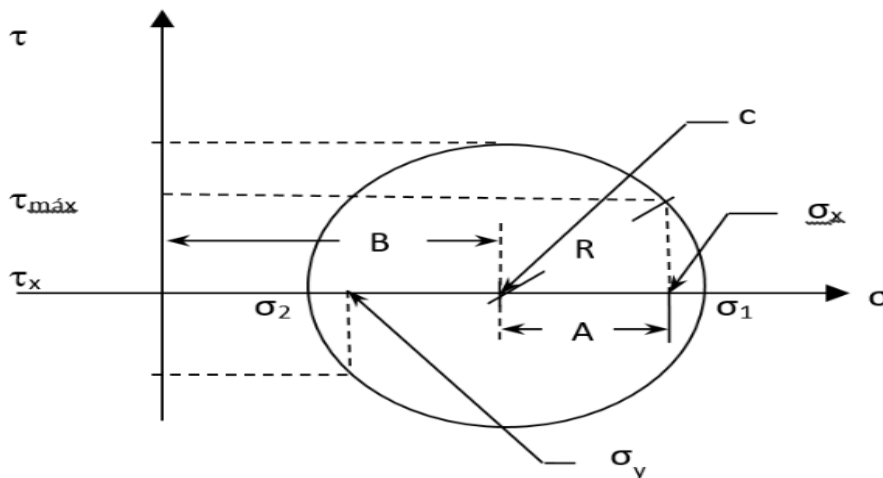


Figura 3: Diagrama del Círculo de Mohr.
Fuente: Tassoni D. 2007.

$$A = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$$

El Radio del círculo es igual a:

$$R = \sqrt{A^2 + \tau_x^2}$$

Pero el radio del círculo, del estado bidimensional de tensiones considerado, no es más que la máxima tensión de corte producida, por lo tanto

$$\tau_{max} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2} \quad \text{Ec.1}$$

Designando, ahora, al segmento \overline{OC} de la figura 3 por la letra **B** se puede escribir

$$B = \sigma_x - A = \sigma_x - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

De esta última expresión y considerando la geometría de la figura 3, resulta

$$\sigma_1 = B + R \text{ y } \sigma_2 = B - R$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2} \quad \text{Ec.2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_x^2} \quad \text{Ec.3}$$

Gracias a las expresiones (4), (5) y (6) se pueden obtener valores de las tensiones principales τ_{\max} , σ_1 σ_2 , en el estado bidimensional de tensiones, a partir de las tensiones directas τ_x , σ_x y σ_y .

Pero atención con τ_{\max} porque para el estado bidimensional de tensiones (o plano) analizado anteriormente lo que realmente está ocurriendo es lo siguiente:

El volumen de control es (con σ_x , σ_y , $\sigma_z=0$ y $\tau_x = \tau_y$), tal y como se observa en la figura 4.

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1}{2} \quad \text{Ec.4}$$

En un elemento de máquina cualquiera, en el cual se presente un estado genérico tridimensional de tensiones, con $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$. El círculo de Mohr resultante es como el representado en la figura 4, en la cual se indican las tensiones principales que actúan sobre dicho elemento.

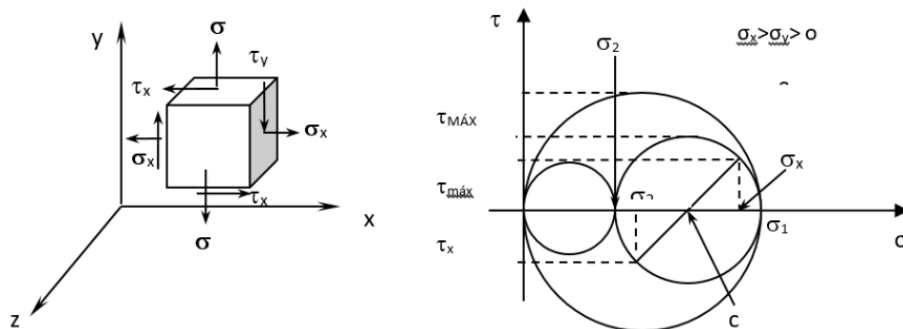


Figura 4: Construcción del Círculo de Mohr “resultante”, para un elemento de máquina sometido a un estado tridimensional de tensiones.

Fuente: Tassoni D. 2007.

2.2.3 Fatiga

Según Shigley. (2008):

“A menudo, se encuentra que los elementos de máquinas han fallado bajo la acción de esfuerzos repetidos o fluctuantes; no obstante, el análisis más cuidadoso revela que los esfuerzos máximos reales estuvieron por debajo de la resistencia última del material y con mucha frecuencia incluso por debajo de la resistencia a la fluencia. La característica más notable de estas fallas consiste en que los esfuerzos se repitieron un gran número de veces. Por lo tanto, a la falla se le llama falla por fatiga” (p.258)

Una falla por fatiga exhibe similitudes visuales con una fractura frágil, ya que las superficies de la fractura son planas y perpendiculares al eje del esfuerzo, sin la presencia de

adelgazamientos. A pesar de esta apariencia similar, las características de la fractura en una falla por fatiga difieren significativamente de la fractura frágil estática, y se desarrollan a lo largo de tres etapas distintas.

- En la primera etapa, se inician una o más microgrietas debido a la deformación plástica cíclica, seguida de una propagación cristalográfica que se extiende en un rango de dos a cinco granos alrededor del origen. Por lo general, las microgrietas en esta etapa son demasiado pequeñas para ser percibidas a simple vista.
- En la segunda etapa, estas microgrietas evolucionan hacia macrogrietas, formando superficies paralelas en forma de mesetas que están separadas por crestas longitudinales. Este cambio de microgrietas a macrogrietas es un proceso crítico en la progresión de la falla por fatiga.
- La tercera etapa ocurre durante el ciclo de esfuerzo final cuando el material restante no puede soportar las cargas, lo que resulta en una fractura súbita y rápida.

A continuación, en la figura 5, se puede observar las fases de la falla por fatiga. La falla comenzó en la raíz de la rosca en A, se propagó casi todo el lado en la sección transversal, lo cual se muestra por las marcas de la playa en B antes de la fractura rápida final en C.

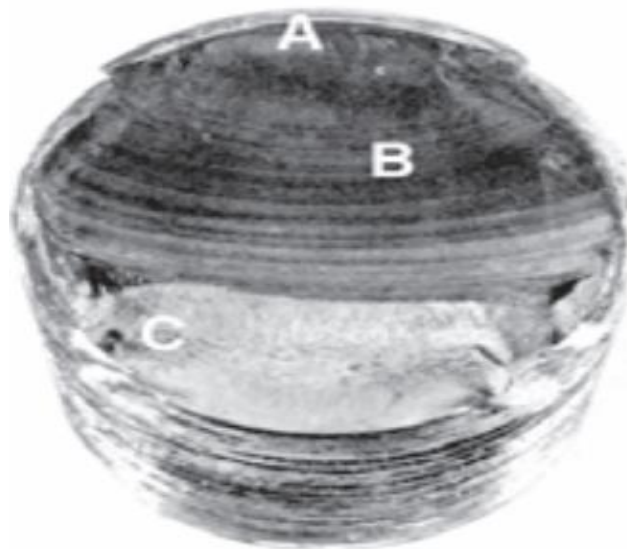


Figura 5: Falla por fatiga en un perno debido a la flexión unidireccional repetida.

Fuente: Shigley. (2008).

2.3 Teoría Central de la Investigación

2.3.1 Teoría de Energía de Distorsión o Teoría de Von Mises-Hencky

D. Tassoni (2006) indica que:

“Esta teoría sostiene que cualquier pieza esforzada en forma elástica sufre un (ligero) cambio en forma volumen o en ambos, pero no en tamaño. La energía necesaria para producir este cambio se almacena de forma de energía elástica. Por lo tanto, un determinado material tiene una capacidad limitada y definida de energía de distorsión o de corte y por lo tanto cualquier intento para someter al material a cantidades mayores de energía distorsión provocaría la falla del elemento” (p.77).

El criterio de Von Mises-Hencky es una teoría utilizada en la ingeniería para predecir el fallo de materiales sometidos a cargas complejas. Este criterio se centra en la idea de la distorsión o deformación angular, en lugar de analizar las tensiones principales individuales. Es especialmente útil para predecir el fallo plástico en materiales dúctiles, como muchos metales. La idea fundamental detrás del criterio de Von Mises es que el fallo ocurrirá cuando la energía de deformación plástica acumulada en un material alcance un valor crítico.

Mediante una serie de simplificaciones y manipulaciones algebraicas, varias ecuaciones fueron reducidas a la siguiente forma simplificada, esta expresión nos permite aplicar en el caso de un estado bidimensional de tensiones como el indicado la “Teoría de energía de distorsión”

$$S_y = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_x^2} \quad \text{Ec.5}$$

La expresión (1) permite aplicar, en el caso de un estado bidimensional de tensiones como el indicado, la teoría de la ENERGÍA DE CORTE o teoría de la ENERGÍA DE DISTORSIÓN o Teoría de Von MISES – HENCKY, sin necesidad de recurrir al círculo de Mohr, pues en ella se pueden utilizar las tensiones directas, σ_x , σ_y τ presentes en el estado bidimensional de tensiones aplicado al elemento de máquina.

Según esta teoría, cuando el sistema de carga que actúa sobre el elemento de máquina produce tensiones de TORSIÓN PURA (tensiones de corte; $\sigma_x = \sigma_y = 0$), de (1) se obtiene que la falla del material y por ende de la pieza, se inicia cuando se alcanza

$$S_y = \sqrt{3\tau_x^2} = \sqrt{3}\tau \rightarrow \tau = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0,577S_y \quad \text{Ec.6}$$

En la figura 6, se muestra la representación gráfica para un estado bidimensional de tensiones, donde se visualiza: 1- Teoría de Tresca (Hexágono), 2- Teoría de Von Mises-Hencky (Elipse), 3- Teoría de Tensión Normal (Cuadrado).

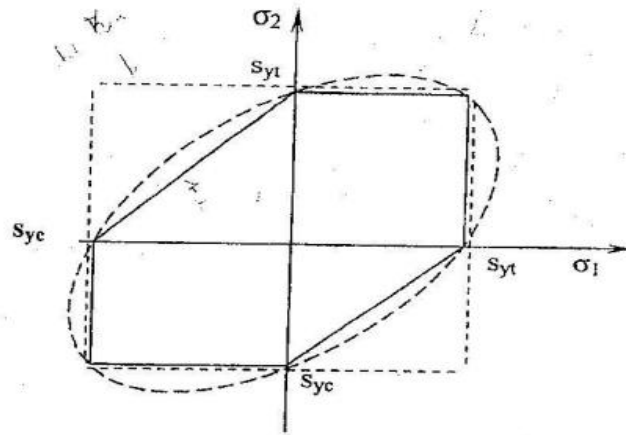


Figura 6: Representación gráfica para un estado bidimensional de tensiones.
Fuente: Tassoni, D. (2006).

2.3.2 Criterio de Soderberg

El criterio de Soderberg es un método utilizado para el diseño por fatiga, específicamente en el análisis de materiales y componentes sujetos a cargas cíclicas. Este criterio forma parte de la teoría de la resistencia de materiales y es especialmente relevante en el diseño de estructuras que experimentan fluctuaciones de carga repetitivas, como en aplicaciones de ingeniería mecánica y estructural. Este criterio se basa en la idea de combinar las tensiones debidas a cargas estáticas y cíclicas para evaluar el riesgo de fallo por fatiga. La relación fundamental en este criterio se expresa mediante la ecuación (Ec. 7) para tensiones variables a compresión y tracción y para tensiones de torsión (o corte) (Ec. 8):

$$\frac{S_y}{N} = \sigma_m + \sigma_a \frac{S_y}{S_n} = \sigma_m + \sigma_a \frac{S_y}{S_f} \quad \text{Ec. 7}$$

$$\frac{S_{ycorte}}{N} = \tau_m + \tau_a \frac{S_{ycorte}}{S_{ncorte}} = \tau_m + \tau_a \frac{S_{ycorte}}{S_{fcorte}} \quad \text{Ec. 8}$$

Este criterio se deriva del hecho de que el fallo por fatiga es generalmente causado por la acumulación de daño a lo largo del tiempo debido a cargas cíclicas. La ecuación indica que la combinación de tensiones estática y dinámica no debe exceder la resistencia a la fatiga del material. El criterio de Soderberg es fundamental en el diseño de componentes y estructuras que están sujetos a cargas cíclicas. Permite a los ingenieros prever el rendimiento a largo plazo de los materiales y asegurarse de que los diseños sean robustos frente a las cargas cíclicas y las posibles fallas por fatiga.

2.4 Bases Legales

2.4.1 ASTM E290 - 14a: Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility: Esta norma establece métodos de prueba para evaluar la ductilidad de los materiales mediante ensayos de flexión. Se utilizan para determinar la capacidad de deformación antes de la fractura, lo que proporciona información valiosa sobre la tenacidad y la capacidad de conformado de los materiales. En el contexto del banco de pruebas, esta norma podría aplicarse para asegurar que los materiales utilizados en la construcción sean adecuadamente dúctiles y capaces de soportar deformaciones sin fallar.

2.4.2 ASTM A36/A36M - 19: Standard Specification for Carbon Structural Steel: Esta norma especifica los requisitos para acero estructural de carbono. Establece las propiedades mecánicas y químicas del acero, así como los métodos de ensayo. En el contexto del banco de pruebas, es esencial para garantizar que el acero estructural utilizado cumpla con los estándares necesarios para resistir cargas y proporcionar integridad estructural.

2.4.3 ANSI B11 Series: Machine Safety Standards: La serie B11 de ANSI se enfoca en establecer estándares de seguridad para maquinaria industrial. Incluye pautas para el diseño, la construcción, la instalación y el uso seguro de diversas máquinas y sistemas. Los estándares de esta serie se centran en minimizar riesgos y prevenir accidentes relacionados con el uso de maquinaria en entornos industriales.

2.4.4 ANSI Z535 Series: Series of Standards for Safety Signs and Tags: La serie Z535 de ANSI se ocupa de las normas para señalización de seguridad, incluyendo letreros, etiquetas y colores para comunicar información de seguridad de manera efectiva. Estos estándares son esenciales para proporcionar una comunicación visual clara sobre los peligros y las precauciones en el entorno de trabajo, lo cual es crítico para la seguridad de los usuarios del banco de pruebas.

2.4.5 AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural Welding Code – Steel: Esta norma establece los requisitos para la soldadura de acero estructural, incluyendo los procesos de soldadura, procedimientos de soldadura, inspección y criterios de aceptación. Está diseñada para asegurar la calidad y la integridad de las soldaduras en estructuras de acero, y su cumplimiento es esencial para garantizar la seguridad y el rendimiento de las uniones soldadas.

2.4.6 ASME Y14.5 - 2018: Dimensioning and Tolerancing: Esta norma es esencial en el diseño y la fabricación, ya que establece principios y prácticas para la especificación de

dimensiones y tolerancias en dibujos técnicos. Proporciona un sistema consistente y claro para definir características geométricas y dimensionales. Al seguir esta norma, se mejora la comunicación entre diseñadores, ingenieros y fabricantes, asegurando la precisión y la consistencia en la producción.

2.4.7 ISO 17025:2017: la ISO 17025 sirve para garantizar a los clientes de un laboratorio de ensayo o calibración, ya sean internos como externos, que cuentan con la capacidad técnica y con la calidad en los procedimientos que aseguran la fiabilidad de sus resultados.

2.5 Definición de Términos

- **Amortiguadores:** se trata de un dispositivo mecánico o hidráulico que está diseñado para absorber y amortiguar los golpes, impactos o vibraciones. Están situados entre el chasis del vehículo y las ruedas.
- **Banco de Pruebas:** un banco de pruebas es una plataforma para experimentación de proyectos de gran desarrollo. Se utilizan para verificar y validar el rendimiento de motores, sistemas hidráulicos, sistemas de transmisión, sistemas de frenos, sistemas eléctricos, equipos de comunicaciones y otros sistemas y componentes.
- **Deterioro:** en términos generales, el término deterioro refiere a la degeneración o empeoramiento gradual y progresivo que observa algo, ya sea un objeto, una situación, una persona, entre otros.
- **Inspección:** la inspección es un tipo de verificación que enumera los elementos para verificación con el fin de identificar si se cumplen las condiciones requeridas para una tarea determinada.
- **Mantenimiento:** Se define el mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.
- **Neumático:** es una pieza toroidal de caucho que emplean las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su función consiste en permitir un contacto adecuado con el pavimento, por adherencia y fricción, a fin de posibilitar el arranque, el frenado y la buena conducción.
- **Puntales:** es una unidad que consta de diferentes elementos y asegura el funcionamiento de la suspensión determinando la posición de la rueda en el espacio. Los puntales ayudan a amortiguar los movimientos de los resortes helicoidales, que se

utilizan para soportar el peso de un vehículo y mantenerlo manejándose correctamente sobre baches, colinas y otras imperfecciones en la carretera.

- **Repuesto:** es una pieza que se utiliza para reemplazar las originales en máquinas que debido a su uso diario han sufrido deterioro o una avería.
- **Resortes:** el término resorte es conocido también como muelle. Es un elemento elástico capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesan las fuerzas o la tensión a las que es sometido.
- **Sistema de Suspensión:** la suspensión es el sistema que conecta el chasis del vehículo con las ruedas. Este sistema es el responsable de brindarte viajes en autos suaves y estables, pues se encarga de absorber, en lo más posible, las irregularidades del camino.
- **Vehículos Automotores Ligeros:** vehículo autopropulsado de cuatro ruedas tales como automóviles, station wagon, camioneta pick up, camioneta panel, camioneta rural y furgoneta, entre otros, con un peso bruto vehicular no superior a 5 toneladas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Paradigma de la Investigación

A lo largo de los planteamientos hechos, se puede observar que es necesario fijar un conjunto de técnicas y procedimientos para obtener un resultado idóneo del problema planteado. En este capítulo se detallan minuciosamente cada uno de los aspectos relacionados con la metodología que se ha seleccionado para desarrollar la investigación, los cuales deben estar justificado por el investigador, cada aspecto debe estar sustentado por el criterio de autores de libros de metodología, por lo que es importante que se acompañen de citas parafraseadas o textual con sus correspondientes soportes de autor. Balestrini (2000) señala que el marco metodológico “es el conjunto de procedimientos a seguir con la finalidad de lograr los objetivos de la información de forma valida y con una alta precisión” (p.44). En este trabajo de investigación se hace un enfoque cuantitativo, ya que este tipo de enfoque se usa para comprender frecuencias, patrones, promedios y correlaciones, entender relaciones de causa y efecto, hacer generalizaciones y probar o confirmar teorías.

La metodología cuantitativa de acuerdo con Tamayo y Tamayo (2007), consiste en el “contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio”.

3.2 Tipo de la Investigación

La presente investigación se encuentra enmarcada en un tipo de investigación de proyecto factible que, la UPEL (1998) define el proyecto factible como un estudio “que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (p.7). La investigación se considera de este tipo ya que el objetivo principal es diseñar y construir un banco de pruebas que permita la inspección de la suspensión de vehículos automotores ligeros que podrá ser puesto en práctica, gracias a los datos obtenidos en las simulaciones previas.

3.3 Diseño de la Investigación

Según Arias (2012) “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental”. (p.27).

Fidias G. Arias (2012), también establece que “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes” (p.31), y también que “La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos”. (p.27).

Relacionado con lo dicho anteriormente, esta investigación tiene un diseño de investigación de campo y documental, debido a que se recogerán datos acerca de trabajos relacionados este proyecto, además de también obtener información a partir de pruebas, observaciones e interacciones con distintas personas que tengan conocimiento acerca de bancos de pruebas para suspensiones de vehículos ligeros.

3.4 Nivel de la Investigación

La metodología empleada en este trabajo se llevó a cabo bajo un nivel de investigación evaluativo, y considerando los criterios de Rivas (2010), la investigación evaluativa “se desarrolla como un modelo pertinente de valoración de proyectos sociales y especialmente educativos, dada su flexibilidad y rigurosidad en términos de tiempo, espacio, actores, objetivos y resultados”. Para otros investigadores como Ruthman, (citado por Cook y Reichardt, 2005), es un “proceso de aplicar procedimientos científicos para acumular evidencia válida y fiable sobre la manera y grado en que un conjunto de actividades específicas produce resultados o efectos concretos”.

Este estudio permitió llevar a cabo un modelo de un banco de pruebas de suspensión con el fin de trabajar de manera mecánica, de forma de que sea una herramienta más económica y capaz de aportar óptimos resultados para así poder brindar al usuario una buena inspección al sistema de suspensión y un trabajo bien realizado.

3.5 Población y Muestra

Según Arias, (2006), se entiende por población el "conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio". (Pág. 81). Por lo cual, recomienda delimitarla con claridad y precisión, siendo preferiblemente finitas tomando en cuenta el tiempo y recursos limitados, sin dejar de lado que, si el número de elementos que la conforman resulta accesible, puede llevarse a cabo un censo poblacional. Dicho esto, en el presente trabajo se establece como población al conjunto de bancos de pruebas semejantes que se estudiarán para así aclarar y extender la investigación de dicho proyecto.

Así mismo, Balestrini (2000) define la muestra como "una parte de la población, o sea, un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, de los cuales cada uno es un elemento del universo" (p.45). Por lo tanto, en este trabajo, la muestra será el banco de prueba para sistemas de suspensión de vehículos automotores ligeros, para así, lograr visualizar correctamente las condiciones en las que se encuentra el sistema de suspensión del vehículo.

3.6 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos

Según, Arias (2012). "las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información" (p.111). Son ejemplos de técnicas, la observación directa, la encuesta y la entrevista, el análisis documental, de contenido, entre otros.

En el presente trabajo de investigación se emplearon diversas técnicas de recolección de datos con el objetivo de obtener una comprensión integral del rendimiento de las suspensiones de vehículos livianos. Estas técnicas incluyeron:

3.6.1 Observación Directa: los autores Hernández, Fernández y Baptista (2006), expresan que: "la observación directa consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conducta manifiesta" (p.316). A través de esta técnica podemos observar y recoger datos mediante la propia observación. La cámara fotográfica se usará como instrumento de recolección de datos, es definida como un dispositivo que captura imágenes mediante la entrada de luz a través de una lente, creando así recuerdos visuales que se pueden guardar para su posterior revisión. (Ver apéndice A).

3.6.2 Entrevista Estructurada: Para Arias (2012)

" La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación "cara a cara", entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema

previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida” (p.73).

Los instrumentos usados en este trabajo serán: guías de entrevista y grabador. Un guion de entrevista es una estructura planificada de preguntas y temas que un entrevistador sigue durante una conversación. Sirve como una guía para asegurarse de que se aborden los puntos importantes. Un grabador, por otro lado, es simplemente un dispositivo utilizado para grabar audio, para su posterior revisión o transcripción.

Se realizarán entrevistas a ingenieros automotrices y expertos en suspensiones, proporcionando valiosa información cualitativa sobre los requisitos de rendimiento y las expectativas. (Ver apéndice A).

3.6.3 Revisión Documental: Según Hurtado (2006):

“La revisión documental es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la forma de datos que puedan haber sido producto de medición hecha por otros, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio” (p.427).

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura relacionada con suspensiones de vehículos livianos, estableciendo un sólido marco teórico y permitiendo la identificación de variables clave en el ámbito de estudio. (Ver apéndice A).

3.7 Técnicas de Análisis de Datos

Según Arias (2012), "en este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan" (p. 111). Las técnicas de análisis de datos se enmarcan dentro de los procesos que comprenden la recolección, depuración, tratamiento, modelado y estudio de datos encaminados a la obtención de conclusiones útiles.

3.7.1 Matriz FODA

La matriz FODA es una herramienta de análisis estratégico que se utiliza para evaluar los factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) que afectan a una empresa, ya sea un negocio, un proyecto o cualquier otra organización. Se utiliza para identificar y comprender aspectos clave de la toma de decisiones estratégicas para que pueda explotar las fortalezas, abordar las debilidades, aprovechar las oportunidades y responder a las amenazas. Esta matriz proporciona una comprensión integral de la situación actual y ayuda a desarrollar estrategias para maximizar el desempeño y la resiliencia frente a posibles desafíos.

3.7.2 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa y efecto, es una herramienta utilizada para identificar y analizar las posibles causas de un problema o efecto específico. El diagrama tiene una estructura que se asemeja a la espina de un pescado, donde la cabeza del pescado representa el problema o efecto que se está analizando. A lo largo de la columna vertebral y las espinas laterales se enumeran diversas categorías de posibles causas que podrían contribuir al problema.

3.8 Validez de los Instrumentos

La validez se define como el grado en que la evidencia empírica y teórica brinda soporte a las interpretaciones de los puntajes de un instrumento de evaluación. Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), la validez “se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir” (p.201). Por otra parte, Arias (2012) resalta que “La validez del cuestionario significa que las preguntas o ítems deben tener una correspondencia directa con los objetivos de la investigación. Es decir, las interrogantes consultarán sólo aquello que se pretende conocer o medir” (p.79). (Ver apéndice A.1).

3.9 Fases Metodológicas

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron cuidadosamente diversos medios y métodos para lograr los objetivos planteados. Estas estrategias fueron diseñadas para abordar con precisión los problemas identificados en el estudio. Un análisis más detallado de los datos recopilados permite no sólo comprender la naturaleza de los respectivos desafíos, sino también ofrecer soluciones concretas y efectivas. Esta rigurosa metodología garantiza la solidez y validez de los resultados y, por tanto, proporciona una base sólida para formular respuestas a las preguntas planteadas.

Según Arias (2012), “La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado”. (p.110)

Fase I: Identificación de señales de problemas en el sistema de suspensión, en esta fase, se lleva a cabo una exploración exhaustiva del sistema de suspensión para detectar cualquier indicio o señal de problemas que puedan afectar su rendimiento.

Fase II: Análisis de las variables que intervienen en la comprobación visual del funcionamiento de la suspensión de un vehículo, se busca definir por completo las variables

para así tener una inspección y comprobación óptima y confiable del funcionamiento del sistema de suspensión de manera visual.

Fase III: Selección del tipo de banco de prueba de suspensión del vehículo, en esta etapa, se toma la decisión estratégica de cómo se llevarán a cabo las pruebas, evaluando si es más adecuado realizarlas de manera individual por rueda o agrupando por eje.

Fase IV: Diseño de los elementos constitutivos del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros, aquí se aborda la planificación y diseño detallado de todos los componentes necesarios para la creación del Banco de Prueba, asegurando que cumpla con los requisitos y estándares establecidos.

Fase V: Realización un análisis de viabilidad, económico, ambiental y técnico del proyecto, esta fase implica evaluar la viabilidad del proyecto en términos económicos, ambientales y técnicos. Se analizan los costos, beneficios, impacto ambiental y la viabilidad técnica para tomar decisiones informadas sobre la implementación del Banco de Prueba.

Fase VI: Construcción del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros, la última fase consiste en la construcción del proyecto planteado, luego de haber evaluado las diferentes variables que implican el diseño y construcción del banco de prueba.

3.10 Cuadro de Operacionalización de Variables

Cuadro 1. Operacionalización de Variables.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Identificar las señales de problemas en el sistema de suspensión para la comprobación visual del funcionamiento de la suspensión del vehículo	Estudio del sistema de suspensión del vehículo	Personal capacitado	Frecuencia y percepción visual del chequeo	1, 6	<i>Técnica:</i> Entrevista <i>Instrumento:</i> Guion de entrevista
			Versatilidad y simulación efectiva	2, 3	
	Gestión integral	Cuidados del sistema	Situación de deterioro	5	
		Selección y diseño	Factibilidad del diseño	7, 4	
			Variables del diseño	8	

Fuente: Giacobbe-Miranda

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el siguiente capítulo se expondrán todas las fases de la investigación establecidas en el Marco metodológico, estas a su vez están alineadas con el cumplimiento del objetivo general de la investigación el cual es “Diseñar y Construir un Banco de Pruebas para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros”.

4.1 Señales de Problemas en el Sistema de Suspensión

En esta fase se llevó a cabo una revisión del sistema de suspensión del vehículo para así identificar las fallas que en él se encuentran. Cuando el sistema de suspensión de un vehículo se daña, sin duda es un gran problema para la circulación de dicho vehículo. Entre las causas que pueden originar el daño del sistema de suspensión de un vehículo, pueden ser:

- **Amortiguador manchado de aceite.** La falta de estanqueidad en la junta del vástago provoca esta avería que se soluciona con una ligera capa de aceite con la que volver a lubricar el vástago de pistón.
- **Vástago de pistón dañado.** Por problemas en el montaje, guardapolvo defectuoso o falta del mismo se produce este problema que se manifiesta en corrosión del componente y que provoca falta de estanqueidad o pérdida de aceite.
- **Vástago de pistón rayado.** El síntoma de este problema es la formación de profundas huellas de rodadura en el componente a causa de un mal montaje o material incorrecto, en una avería que provoca un desgaste importante del amortiguador o ruidos al comprimirse y extenderse la suspensión.
- **Rosca desgarrada.** Por la falta de fijación del amortiguador se produce este problema que puede provocar ruidos en la suspensión, tableteo fuerte, reducción de la eficacia del sistema o incluso el fallo total. Para evitarlo, el mecánico debe evitar la atornilladora de percusión y observar el par de apriete.
- **Válvula de flujo floja o desgarrada.** Si el rendimiento del amortiguador se ve notablemente reducido e incluso provoca el fallo total, puede ser por esta avería causada por problemas en el montaje y que la tuerca de la válvula se haya aflojado o por topes defectuosos.
- **Casquillos de goma fisurados o deformados.** El síntoma de este problema es un ruido como de golpeteo o chirrido, aunque simplemente puede deberse al desgaste normal y

a la fatiga del material. Eso sí, es un peligro para la conducción y afecta al sistema de frenado.

- **Holgura y ruidos al comprimirse y extenderse la suspensión.** Si los elementos de suspensión y amortiguación están desgastados pueden provocar este problema que se materializa, por ejemplo, en comportamientos de dirección inestables, ruidos o desgaste anormal de los neumáticos.
- **Topes o guardapolvos desgastados.** Muelles defectuosos, desgaste de determinadas piezas de plástico o incorrecta combinación de muelle y amortiguador son las causas de este problema que provoca salida de aceite o fallo total debido a la destrucción de las válvulas interiores.
- **Apoyos de amortiguador desgastados.** Una dirección dura o conducción inestable son las consecuencias de este problema a causa de que el amortiguador queda asentado debido al largo kilometraje.
- **Rotura de muelle.** Si el vehículo se inclina hacia un lado y hace ruidos en la suspensión, puede haber daños graves en este componente de la suspensión. Las causas son diversas: desde golpes de piedras, daños previos de la pintura protectora o incluso debido a un fuerte impacto con un bordillo.
- **Desgaste del perfil de los neumáticos por fricción.** Este problema puede tener su origen en amortiguadores defectuosos o desgastados o una geometría incorrecta, motivo por el cual se aconseja revisar el chasis cada 20.000 kilómetros.

Las irregularidades en las carreteras asfálticas, pueden ocasionar a un alto nivel de vibraciones que suponen daños en la carrocería y estructuras del habitáculo (asiento, tablero, puertas, amortiguadores, etc.), deformaciones de los neumáticos y en algunos casos extremos la rueda completa (llanta más neumático), el aumento de frecuencia de revisiones y el aumento del consumo de combustible entre otros, y junto con una conducción irresponsable, puede traer consigo dificultades en el vehículo y accidentes de tránsito.

Ahora, ¿cómo se puede saber si algo va mal con el sistema de suspensión? Estas son algunas de las señales habituales de problemas en la suspensión:

- **Bascular hacia un lado al conducir**

Si se observa que el vehículo se está inclinando hacia un lado o al otro cuando se conduce, al problema puede estar en los neumáticos, los amortiguadores o los frenos.

Los neumáticos (cámara, rueda y convergencia) necesitan estar alineados con precisión para asegurar una conducción suave. Revisar las bandas de rodadura de tus neumáticos para ver si se están desgastando uniformemente, y comprueba que los neumáticos estén correctamente inflados, ya que unos neumáticos inflados por encima o por debajo de su nivel ideal pueden impactar en su estabilidad al conducir.

Si el problema persiste después de haber comprobado los neumáticos, se debería revisar el sistema de suspensión. Si no se logra ver alguna señal de desgaste o daño en los amortiguadores, en la rótula de suspensión o en los brazos, o, si no estás seguro de lo que estás buscando, es mejor hablar con un mecánico cualificado ya que los problemas en la suspensión pueden tener serias implicaciones en la seguridad.

- **Sentir cada Bache**

Una de las funciones principales del sistema de suspensión es suavizar los baches de la carretera. Si se comienza a sentir cada bache de la carretera, eso es señal de que hay un problema con los amortiguadores o los muelles de suspensión que es necesario comprobar.

Una comprobación fácil es la prueba de rebotes. Simplemente, la persona se apoya en el capó y empuja hacia abajo con todo tu peso. Suelta el vehículo y cuenta el número de veces que rebota. Si rebota más de tres veces, entonces hay un problema con los amortiguadores o con los muelles de suspensión.

- **Un ángulo más bajo**

Si se nota que un ángulo del automóvil parece estar mucho más bajo que los otros, es muy posible que haya un muelle gastado o dañado. También se puede notar un ruido sordo cuando conduces sobre baches o pasas por un hoyo profundo.

Para comprobar esto, hay que asegurar primero que los neumáticos estén inflados correctamente y por igual. Si un ángulo sigue pareciendo estar caído, empujar con todo tu peso en el maletero del coche y escuchar cómo reacciona la suspensión. Un sonido parecido a un crujido o chirrido confirmará que se necesita que un mecánico compruebe la suspensión.

- **Inclinarse hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados**

Se debe chequear si el vehículo hace presenta alguna de las siguientes fallas presentadas en las siguientes interrogantes:

- ¿Se inclina hacia adelante cuando frena?
- ¿Rueda hacia un lado cuando gira una esquina?
- ¿Se inclina o agacha hacia atrás cuando acelera?

Si ha respondido sí al menos a una de estas preguntas, puede que haya un problema con los amortiguadores o muelles de suspensión. Se puede comprobar esto fácilmente haciendo la prueba de rebotes, que se mencionó anteriormente. Si hay un problema con los amortiguadores o muelles de suspensión, se recomienda llevar el vehículo a un mecánico tan pronto como sea posible, ya que conducir con unos amortiguadores o muelles gastados o rotos es peligroso.

- **Dificultad al girar**

Cuando girar se vuelve difícil, especialmente al conducir a velocidades bajas, esto significa que podría haber un problema con los sistemas de suspensión o dirección. Podría tratarse de un nivel bajo del líquido de la dirección asistida, un fallo de la bomba de la dirección asistida, una cremallera de la dirección asistida que tenga una fuga o que los casquillos del brazo de control estén gastados.

Debido al peligro de conducir cuando la dirección no está funcionando correctamente, lo mejor es hacer que un mecánico la compruebe lo antes posible.

- **Amortiguadores aceitosos**

Los expertos recomiendan hacer una comprobación visual de su sistema de suspensión a intervalos regulares. Si notas que tus amortiguadores o muelles de suspensión tienen un aspecto aceitoso o grasiento, es muy posible que estén perdiendo líquido. Esto significa que no funcionarán correctamente cuando los necesites, así que es una buena idea hacer que los revise un mecánico.

Dicho esto, se aplica la primera técnica, la cual es la observación directa, donde se hace referencia el ambiente donde se está soportando este trabajo, estos es taller mecánico automotriz “Renova Solutions”, ubicado en Valencia, Carabobo; en ellos empleamos el uso de cámaras fotográficas para revelar imágenes, que se mostrarán a continuación:



Figura 7: Taller mecánico automotriz, Renova Solutions, Valencia, Carbo. Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

4.1.1 Identificación de las necesidades del usuario

A través de la segunda técnica para la recolección de datos, la cual es la entrevista estructurada, con el guion de entrevista que se muestra en el apéndice A.1, se entrevistaron un total de dos ingenieros relacionados con el área de mecánica o automotriz que han tenido experiencia o están familiarizados con los sistemas de suspensión, en este caso se decidió resaltar como ejemplo de la entrevista realizada al ingeniero Fabio Giacobbe y al ingeniero Giacomo Pizzella, donde se busca emplear el sistema del banco de pruebas de suspensión para un chequeo eficiente, y cuyos resultados de la entrevista se muestran en la tabla 1 y 2 a continuación.

Cuadro 2. Resultados de entrevista al Ing. Fabio Giacobbe.

Guion de Entrevista	
Preguntas	Respuestas
1- De acuerdo a su experiencia ¿Con qué frecuencia se le hace chequeo a un sistema de suspensión de su vehículo?	En Condiciones normales de vialidad, cada 30.000 km aproximadamente. Condiciones normales = vía asfaltadas
2- Desde su óptica ¿Cómo se puede realizar una simulación efectiva de las condiciones de conducción realistas en un banco de prueba de suspensión?	En el movimiento de test los neumáticos no deben separarse de la superficie en contacto la cual simula la vialidad.
3- En su opinión ¿Cómo debe ser el diseño del banco de pruebas de suspensión para asegurarse de que sea adaptable a diferentes tipos de vehículos y suspensiones?	Debe tener la capacidad de poder comprimir el amortiguador en diferentes niveles, simulando la funcionalidad de diseños "Heavy duty".
4- Desde su punto de vista ¿Cuáles son las características que lo hace adquirir este banco de pruebas de suspensión?	La determinación rápida de los componentes del sistema de suspensión.
5- Desde su experiencia ¿Cuáles son las situaciones que cree usted que produce que el sistema de suspensión se deteriore?	Condiciones de vialidad a la que es sometido el sistema de suspensión.
6- De acuerdo a su experiencia ¿Cómo percibe usted que pudiera chequear el funcionamiento del sistema de suspensión de un vehículo?	El Chequeo más usual es el escalonamiento de los neumáticos, lo cual implica la falta de presión de los amortiguadores hacia el pavimento o vía.
7- Tomando en cuenta su experiencia, ¿Cuáles considera usted que son las ventajas y desventajas en el diseño de banco de pruebas para resolver los inconvenientes con los sistemas de suspensión?	Primeramente, asegurar el componente deteriorado o dañado en el sistema de suspensión, tal como los amortiguadores.
8- De acuerdo a su conocimiento ¿Cuáles serían las variables para el diseño de un banco de pruebas para chequear el funcionamiento de suspensión de un vehículo?	Una de las variables más importante es el desplazamiento en compresión del amortiguador.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Cuadro 3. Resultados de entrevista al Ing. Giacomo Pizzella.

Guion de Entrevista	
Preguntas	Respuestas
1- De acuerdo a su experiencia ¿Con qué frecuencia se le hace chequeo a un sistema de suspensión de su vehículo?	Es algo muy frecuente en el día a día en el taller, el 50%, de los carros que ingresan vienen con fallas de suspensión.
2- Desde su óptica ¿Cómo se puede realizar una simulación efectiva de las condiciones de conducción realistas en un banco de prueba de suspensión?	Desde un punto de simulación práctico, creo que, una vez construido el prototipo, poner en marcha los elementos tomados en cuenta en el diseño y realizar la puesta a punto, y una vez puesto en marcha hacer las correcciones necesarias para mejorar los parámetros de construcción.
3- En su opinión ¿Cómo debe ser el diseño del banco de pruebas de suspensión para asegurarse de que sea adaptable a diferentes tipos de vehículos y suspensiones?	Un banco de prueba, preferiblemente de doble eje, colocarlo en un puesto fijo, de tener limitaciones económicas, de espacio, etc. lo más práctico posible en cuestión de movilidad para su práctico desempeño, y poder tener un margen amplio de regulación de condición de vibración.
4- Desde su punto de vista ¿Cuáles son las características que lo hace adquirir este banco de pruebas de suspensión?	Sería una herramienta que facilitaría el diagnóstico más preciso de la falla.
5- Desde su experiencia ¿Cuáles son las situaciones que cree usted que produce que el sistema de suspensión se deteriore?	Realizar pruebas en tiempos prolongados, con altas frecuencia, un mal mantenimiento.
6- De acuerdo a su experiencia ¿Cómo percibe usted que pudiera chequear el funcionamiento del sistema de suspensión de un vehículo?	Encontrando la frecuencia adecuada, en cada inspección, para así lograr obtener fácilmente un buen resultado a la hora de diagnosticar fallas en un vehículo.
7- Tomando en cuenta su experiencia, ¿Cuáles considera usted que son las ventajas y desventajas en el diseño de banco de pruebas para	Del punto de vista ventajoso, se detectaría de forma más precisa el fallo, y así alcanzar una mejor eficiencia a la hora de hacer la


<p>resolver los inconvenientes con los sistemas de suspensión?</p>	<p>corrección, la desventaja sería que aun cuando simularíamos de una manera muy cercana el funcionamiento, es posible no abarcar todas las variables y no poder detectar alguna falla, de forma visual.</p>
<p>8- De acuerdo a su conocimiento ¿Cuáles serían las variables para el diseño de un banco de pruebas para chequear el funcionamiento de suspensión de un vehículo?</p>	<p>En lo personal, y tomando en cuenta la experiencia en suspensiones de carros, las variables más importantes serían, la amplitud o recorrido del desplazamiento de la meseta, el número de ciclos para así sea el elemento averiado pueda salir a flote a la hora de poner en marcha el dispositivo, debido a que no todos los elementos fallan en las mismas condiciones.</p>

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Luego de analizar todos los datos recolectados en las entrevistas, se concluyó que los sistemas de suspensión, son sistemas que deben de lograr que la conducción de un vehículo se torne cómoda y sin sentir tantos impactos provocados por deterioros en las vías en las que circula el automóvil, por ende este banco de pruebas ofrece la capacidad de poder chequear de una manera rápida y visual, la condición del sistema de suspensión para luego determinar si se le debe de hacer algún ajuste o reparación a dicho sistema.

4.1.2 Estudio de las características más resaltantes de los bancos de prueba de suspensión de vehículos que se encuentran actualmente en el mercado.

Cuadro 4. Comparación de los bancos de pruebas de suspensión existentes en el mercado.

Nombre	Característica	Imagen
<p>Banco de suspensiones VL+ CAP9020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones :292 x 43 x 28 cm. - Marco: acero galvanizado. - Frecuencia Excitación :0-25Hz. - Peso por eje :4 t. 	

	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia de los motores :3 Kw. - Método de prueba: EUSAMA, Phase shift. - Paso suspensiones :80-280 cm. - Alimentación: 230/400V, 50Hz. <p style="text-align: center;">Interfaz</p> <ul style="list-style-type: none"> - Totem: compacto y ergonómico. - Alimentación :230/400V, 50Hz. - PC: Pantalla tactil 22" OS WiN. - Software: Inspeccion vehicular S9020NC. 	<p style="text-align: center;">Fuente:</p> <p style="text-align: center;">http://www.capelec.com/es/equipements/bancos-de-ensayo/cap9020-1</p>
<p>Suspension Testers RST-1600/RST-1500W Series</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Carga máxima por eje: 3 T. - Potencia del motor eléctrico: 1,5 kWt x 2 Total 3 kWt. - Vía: 880 – 2200 mm. - Frecuencia de prueba: 23 Hz - Amplitud: 6 mm - Tamaño (largo x ancho x alto): 1320 x 630 x 210 mm - Peso: 500 kg 	  <p style="text-align: center;">Fuente:</p> <p style="text-align: center;">file:///C:/Users/Fabrizio%20Giacobbe/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/BZ</p>

		0TOWTH/RST-1600-1500W%20manual[1].pdf
BANCO PARA PRUEBA DE SUSPENSIONES BSU RYME para autoS y camiones	<p>BANCO DE SUSPENSIONES BSU RYME Permite cargas de hasta 16 toneladas, útil para analizar suspensiones de vehículos ligeros y camiones con método eusama rueda por rueda.</p> <p>Peso máximo de prueba 2.500 kg en livianos y peso máximo al paso de 16 ton, 2 motores de 3 kw, ancho de vía 2120 mm, Ancho mínimo 825 mm, dimensiones 2320 x 480 x 285 peso del bastidor 665 kg. Peso de consola 55 kg Hecho en España 100% por RYME.</p> <p>Ficha Técnica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 16 ton. - Voltaje: 380 50/60 Hz 3 fases. 	 <p>Fuente: https://psgautomotriz.com/inspeccion-tecno-mecanica/294-banco-para-prueba-de-suspensiones-bsu-ryme-para-autos-y-camiones.html</p>
Banco de suspensión BSU	<ul style="list-style-type: none"> - Carga máx. por eje al paso: 16 T. - Motores: 2 x 3 kW. - Ancho máximo de vía: 2.120 mm. - Ancho mínimo de vía: 825 mm. 	 <p>Fuente: https://www.ryme.com/products/banco-de-suspension-bsu/</p>

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

El rango promedio de la carga máxima por eje es aproximadamente 8,3 T, mientras que el promedio de la potencia del motor utilizado en estos ejemplos de bancos de prueba de suspensión oscila a 3 kWt cada motor usado. Estos valores se presentaron como punto de referencia para la partida del diseño y construcción del banco de prueba y que pueda ser incluso competente en el mercado.

4.1.3 Estudio de las características de los bancos de prueba de suspensión en el mercado

El estudio de las características de los bancos de prueba de suspensión en el mercado puede incluir varios aspectos importantes. Algunos de ellos son:

1. Capacidad de carga: Es importante considerar la capacidad de carga del banco de prueba, es decir, la cantidad máxima de peso que puede soportar. Esto es crucial para asegurarse de que el banco de prueba sea adecuado para el tipo de vehículo y suspensión que se va a probar.
2. Rango de movimiento: El rango de movimiento del banco de prueba es otro aspecto clave a considerar. Esto se refiere a la cantidad de movimiento vertical que puede simular el banco de prueba, lo que permite evaluar el comportamiento de la suspensión en diferentes condiciones de conducción.
3. Precisión y repetibilidad: La precisión y repetibilidad de las mediciones realizadas por el banco de prueba son fundamentales para obtener resultados fiables y comparables. Es importante investigar la precisión de las mediciones y la capacidad del equipo para repetir pruebas con resultados consistentes.
4. Software y control: El software utilizado para controlar el banco de prueba y analizar los datos es un aspecto importante a considerar. Un buen software puede facilitar la configuración de pruebas, la visualización de datos y el análisis de resultados.
5. Compatibilidad con normativas y estándares: Es esencial que el banco de prueba cumpla con las normativas y estándares aplicables en la industria automotriz. Esto garantiza que los resultados obtenidos sean válidos y comparables con otros equipos y pruebas realizadas en diferentes lugares.
6. Facilidad de uso y mantenimiento: La facilidad de uso y mantenimiento del banco de prueba es un factor importante a considerar, ya que puede afectar la eficiencia y la durabilidad del equipo.

Estos son solo algunos de los aspectos que se deben considerar al estudiar las características de los bancos de prueba de suspensión en el mercado. Cada uno de ellos puede influir en la selección del equipo más adecuado para las necesidades específicas de pruebas de suspensión.

4.2 Análisis de las Variables que Intervienen en la Comprobación Visual del Funcionamiento de la Suspensión de un Vehículo

La comprobación visual del funcionamiento de la suspensión del vehículo es un procedimiento importante que permite identificar posibles problemas antes de que causen daños mayores. Las variables que intervienen en esta comprobación son las siguientes:

1. Alineación de las ruedas: La alineación de las ruedas es un proceso que ajusta los ángulos de las ruedas para que estén correctamente alineadas con el vehículo. Los ángulos clave que se ajustan son la convergencia, la geometría de las ruedas.
 - Convergencia: Es el ángulo entre las ruedas de un mismo eje. Las ruedas delanteras deben estar convergentes, lo que significa que deben apuntar ligeramente hacia adentro. Esto ayuda a que el vehículo se mantenga estable en línea recta.

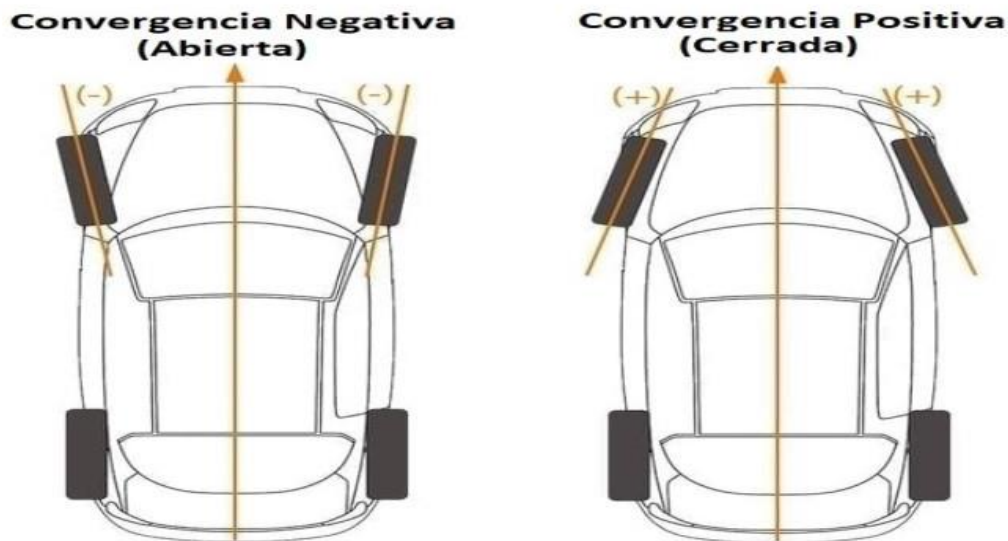


Figura 8: Convergencia positiva y negativa de los carros.
Fuente: AGR.

- Geometría de las ruedas: Es el ángulo entre la rueda y el suelo. Las ruedas delanteras deben estar ligeramente inclinadas hacia adentro, lo que ayuda a que el vehículo se mantenga estable en las curvas.

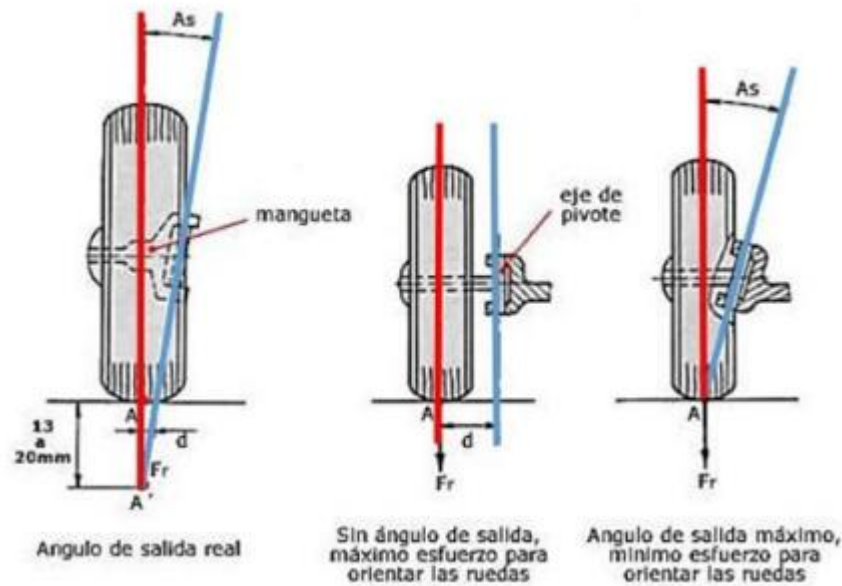


Figura 9: Ángulo de salida de las ruedas.

Fuente: Aparicio J. (2020).

2. Ruidos y vibraciones: La suspensión debe funcionar sin ruidos ni vibraciones. Si se observan estos síntomas, puede ser señal de un problema en los componentes de la suspensión. Los ruidos más comunes que pueden producirse en la suspensión son los siguientes:

- Clic: este ruido puede producirse por un desgaste en los rodamientos de las ruedas.
- Golpeteo: este ruido puede producirse por un desgaste en los amortiguadores o en los muelles.
- Ruido de chirrido: este ruido puede producirse por un desgaste en los silentblocks.

Las vibraciones más comunes que pueden producirse en la suspensión son las siguientes:

- Vibración al frenar: esta vibración puede producirse por un desgaste en los discos de freno o en las pastillas de freno.
- Vibración al girar: esta vibración puede producirse por un desgaste en los componentes de la suspensión delantera.
- Vibración al pasar por baches: esta vibración puede producirse por un desgaste en los componentes de la suspensión trasera.

- Si se observan ruidos o vibraciones en la suspensión, es necesario llevar el vehículo a un taller especializado para que sea revisado.
3. Daños en los componentes: Los componentes de la suspensión deben estar en buen estado y sin daños. Si se observan daños, es necesario sustituir el componente afectado. Los daños más comunes que pueden producirse en los componentes de la suspensión son los siguientes:
- Desgaste en los rodamientos de las ruedas: este desgaste puede provocar ruidos y vibraciones.
 - Desgaste en los amortiguadores: este desgaste puede provocar una disminución de la estabilidad y un aumento de la distancia de frenado.
 - Desgaste en los muelles: este desgaste puede provocar una disminución de la altura de la carrocería y una disminución de la comodidad de conducción.
 - Desgaste en los silentblocks: este desgaste puede provocar ruidos y vibraciones.
 - Rotura de los brazos de suspensión: esta rotura puede provocar una pérdida de control del vehículo.

4.2.1 Analogía del Diseño de un Sistema de Suspensión

Todo sistema de suspensión en los vehículos automóviles debe tener dos cualidades fundamentales: la elasticidad, para evitar golpes secos en el chasis debido a las irregularidades del terreno; y la amortiguación, que impida un excesivo balanceo de los elementos de la suspensión que se transmita al resto del vehículo.

Por ello, los componentes en todo sistema de suspensión se pueden clasificar en dos grandes grupos atendiendo a la función que realicen:

- Componentes elásticos o flexibles de la suspensión: entre estos componentes están las ballestas, barras de torsión, muelles, etc. Garantizan la unión entre los órganos de rodadura y el resto del vehículo, aportando una fuerza recuperadora cuando se produce alguna separación entre ellos.
- Elementos amortiguadores de la suspensión: son aquellos componentes encargados de mitigar o neutralizar las oscilaciones del elemento flexible producidas por las irregularidades del terreno. Son elementos disipadores de energía, que hacen que decaiga el movimiento oscilatorio provocado por cualquier tipo de perturbación que actúe sobre la suspensión.

4.2.2 Matriz FODA

A continuación, se elabora una Matriz FODA, la cual es una de las herramientas que nos ayuda a conocer la situación que se presenta dentro del mercado actual. En ella, procedemos a realizar una lista con las fortalezas y debilidades, que representa el análisis interno, y las oportunidades y amenazas, que representan el análisis externo, para facilitar la toma de decisiones.

Cuadro 5. Matriz FODA.

	Análisis Externo	
Análisis Interno	Oportunidades	Amenazas
Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> - Chequeo rápido y eficiente - Facilidad de uso - Facilidad de mantenimiento - Durabilidad - Económico 	F-O	F-A
	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de un software que arroje resultados de esfuerzo de la suspensión. - Ventas a talleres automotrices. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bancos con softwares instalados que arrojen resultados de evaluación de la suspensión.
Debilidades <ul style="list-style-type: none"> - Personal no capacitado - Limitación a vehículos automotores ligeros 	D-O	D-A
	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitación del personal. - Elaboración de bancos que sean capaces de soportar cargas mayores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Talleres con personales con mayores conocimientos en los sistemas de suspensión. - Bancos capaces de evaluar el sistema de suspensión de vehículos con mayor pesaje.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

4.2.3 Diagrama Causa y Efecto (Diagrama de Ishikawa)

Utilizaremos el diagrama de Ishikawa, para identificar las posibles causas del problema y entender su verdadero origen. Estas causas son consideradas en el desarrollo del conjunto de opciones del diseño del banco de pruebas para eliminar el problema. La importancia de este diagrama, es la búsqueda las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis, y así,

evitar el error de buscar de manera directa las posibles soluciones sin cuestionar las verdaderas causas.

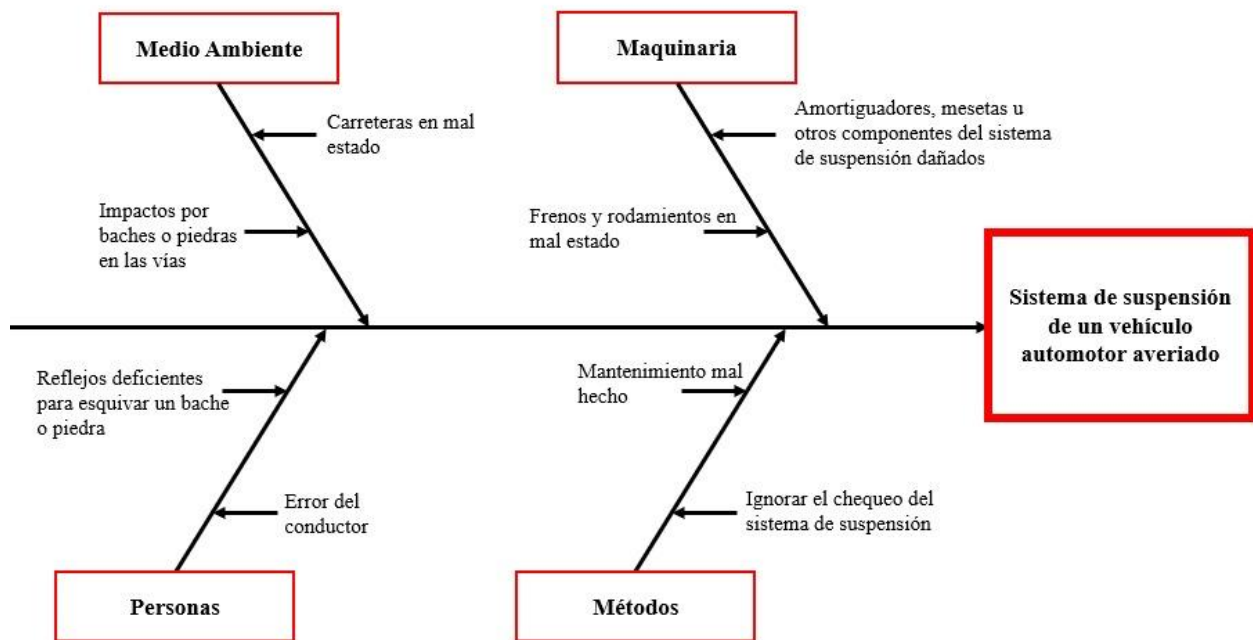


Figura 11: Diagrama de Ishikawa.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Este diagrama, resulta de mucha utilidad para el estudio de las causas que están relacionadas con la problemática que se presentan en los sistemas de suspensión de vehículos. Como se muestra en dicho diagrama, existen cuatro eslabones que definen las causas del problema que hemos definido. Dicho esto, cuando hablamos de las causas del medio ambiente, nos referimos a las carreteras que se encuentran en mal estado, con baches o piedras atravesadas que hacen que el vehículo pueda impactar con ellos, y averiar así la suspensión del mismo. Con respecto a la maquinaria, hacemos hincapié en los componentes del sistema de suspensión, tomando en cuenta que, al estar deteriorados, pueden llevar al daño del mismo. Las personas, es decir, en este caso el conductor, también juega en el papel de causas que puede provocar el daño del sistema de suspensión, al cometer un error manejando y no estar pendiente de la vía, provocando así que pueda caer en algún bache, impactar con una piedra u otra situación, como se mencionó anteriormente. Y, por último, al hablar de los métodos, nos enfocamos en el hecho de que un mal mantenimiento, el no estar pendiente o simplemente ignorar el chequeo del sistema de suspensión, aun cuando se sientan ruidos extraños o se sienta un mal funcionamiento del mismo, puede llevar también al daño del sistema al querer conducir con dicha situación presente.

4.3 Selección del Tipo de Banco de Prueba de Suspensión del Vehículo

En esta fase se toman en cuenta las “Estrategias Creativas en el Diseño Mecánico” (N. Vilchez), para poder evaluar el mejor diseño del banco de pruebas de suspensión, con el fin de satisfacer las necesidades para las que ha sido concebida. Para hacer la selección del tipo de banco de prueba de suspensión se tomarán en cuenta cuatro modelos.

4.3.1 Posibles Diseños para la Construcción del Banco de Prueba de Suspensión para Vehículos Automotores Ligeros

Procedemos a una serie de búsqueda de posibles diseños de construcción. Para poder elegir el mejor diseño se deben de tomar en cuenta diferentes criterios de los diseños y compararlos para dar con la obtención de la mejor opción que satisfaga los objetivos planteados.

- **Posible Solución 1 (PS₁)**

Se plantea un diseño de un banco de prueba de suspensión cuyo mecanismo funcione a través de un eje mecanizado con otros ejes pequeños que den la forma de un tipo de cigüeñal y pistones.

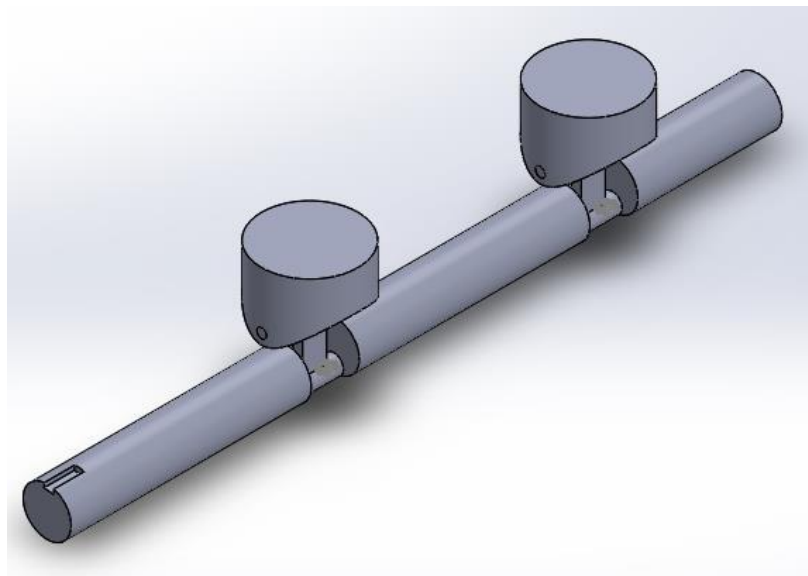


Figura 12: Eje mecanizado con los brazos de biela y pistones.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Dicho eje va incorporado con un banco que tendrá en su zona posterior unas guías donde irían ubicados los cabezales de los pistones pudiendo ser soldados o atornillados para que queden sujetos a la tabla, y además, el banco tendrá unos pasadores que irán encajados en 4

orificios que tendrá en banco de pruebas en cada una de sus esquinas, para así poder mantener una dirección en específica, que en este caso sería un movimiento de arriba hacia abajo, para poder dar con ese efecto vibratorio que excitaría al sistema de suspensión y así evaluar su desempeño. El eje accionará un movimiento giratorio a partir de un motor eléctrico, para lograr el movimiento de subida y bajada del banco a partir de los pistones.

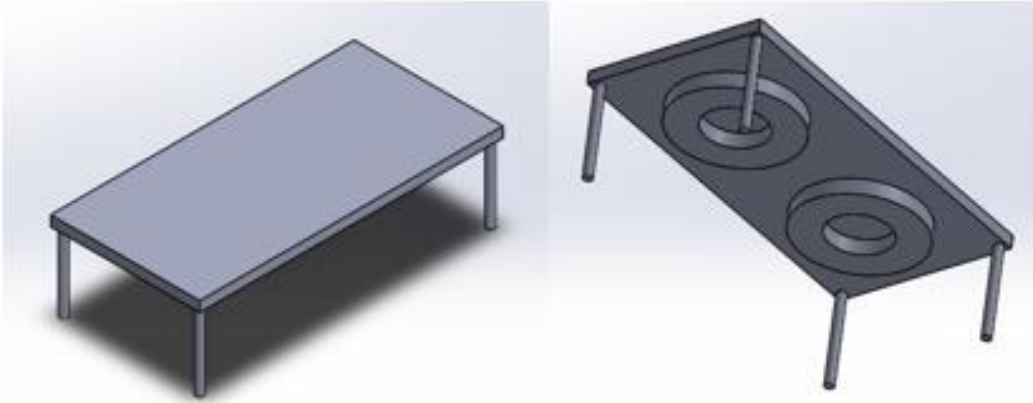


Figura 13: Banco superior con los seguidores para los cabezales del pistón.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

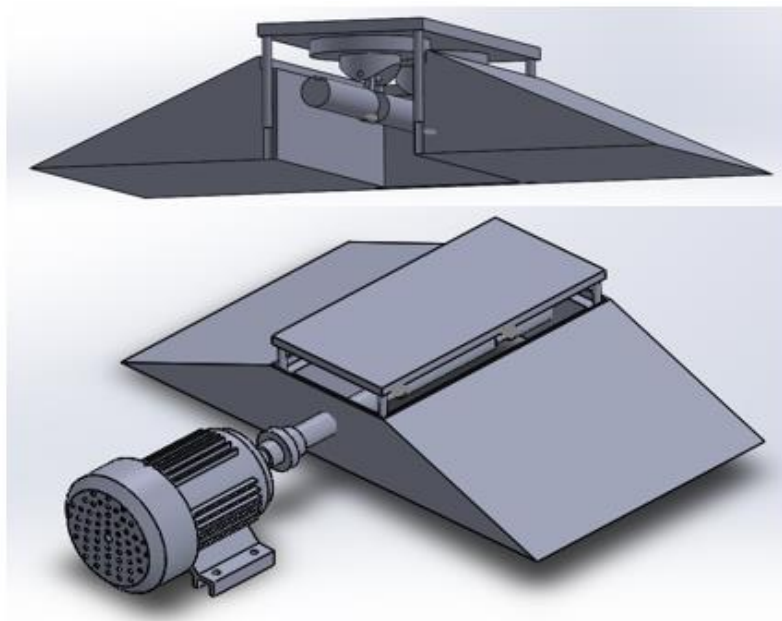


Figura 14: Banco de prueba de sistema de suspensión para vehículos automotores ligeros con un sistema de cigüeñal y pistón (PS₁).
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- **Posible Solución 2 (PS₂)**

Se trata de un modelo del banco de pruebas que consta de una rueda excéntrica, la cual se ubica en el medio del eje con respecto al banco, y a su vez, la leva estará cubierta por una camisa la cual será la que se moverá en relación con el banco de pruebas, esta camisa va acoplada con una placa que, a su vez, dicha placa irá acoplada al banco para poder ejercer la fuerza de empuje que hará subir y bajar el banco.

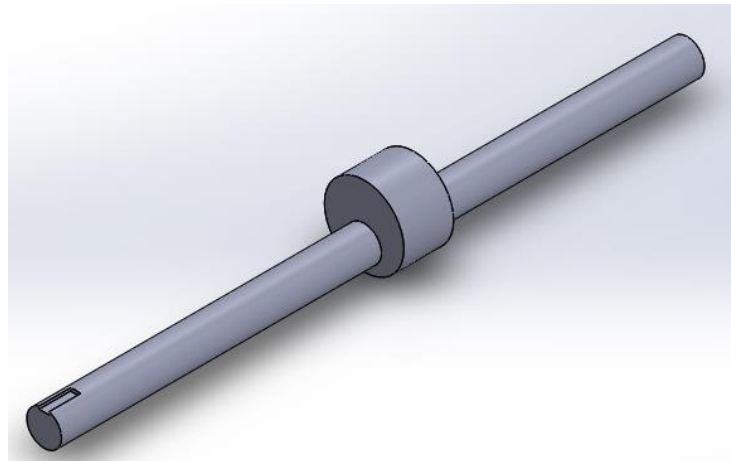


Figura 15: Eje mecanizado con leva circular.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

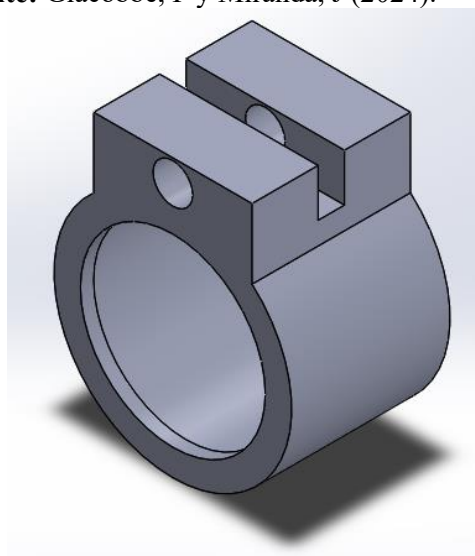


Figura 16: Camisa externa de la leva circular.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

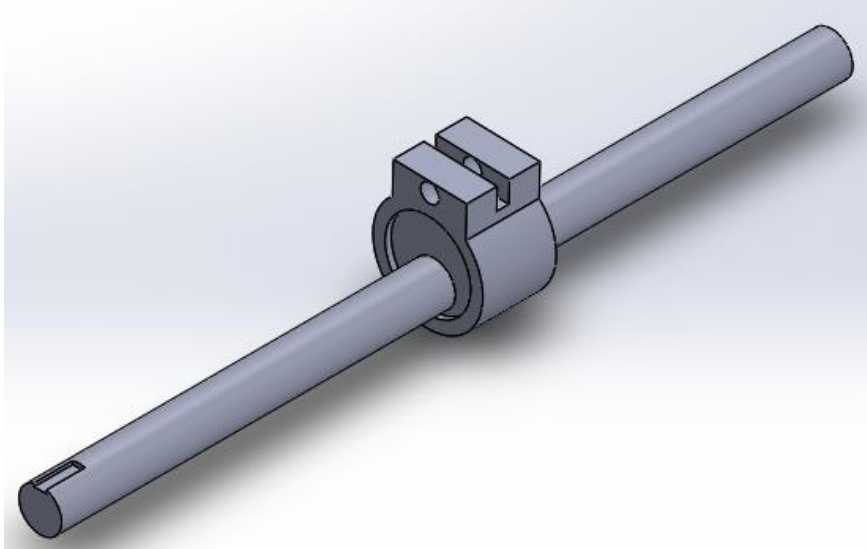


Figura 17: Eje con leva circular y camisa externa.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

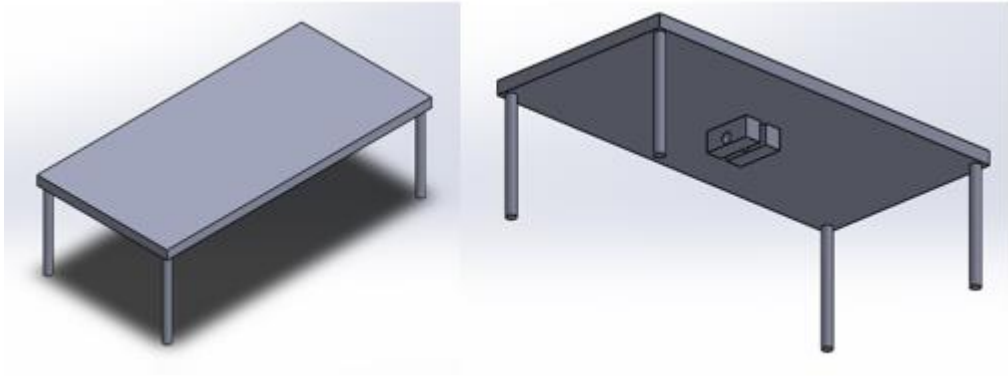


Figura 18: Banco superior.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

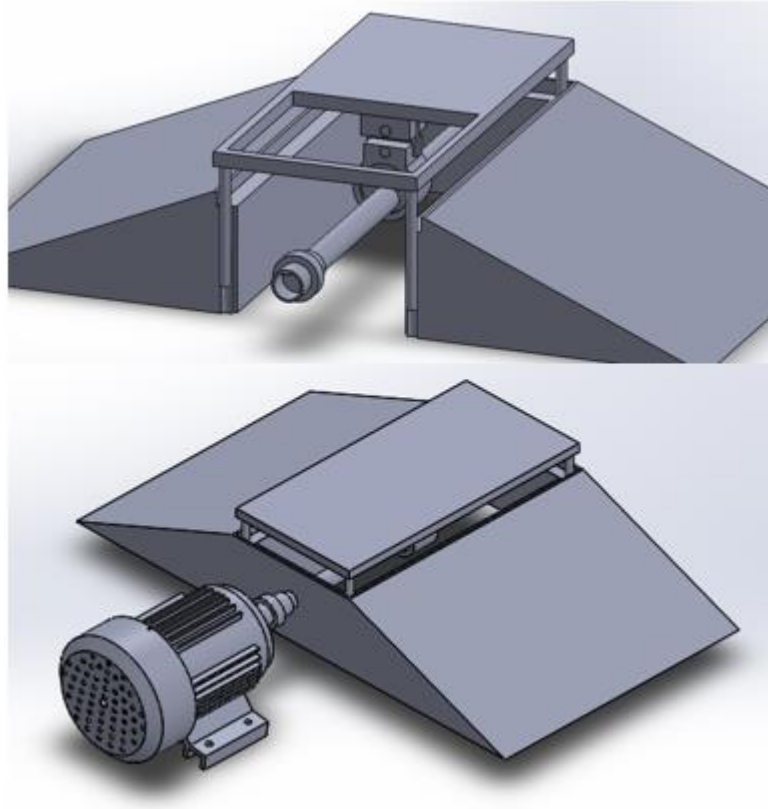


Figura 19: Banco de pruebas con una sola leva circular (PS₂).
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- **Posible Solución 3 (PS₃)**

El banco de pruebas integra un solo árbol de levas de mayor longitud en su estructura. Este árbol de levas abarca dos ruedas y está accionado por un motor eléctrico. El mecanismo incorpora un trio de seguidores de rodillo, uno para cada juego de levas, soldados a la placa superior. Los dos seguidores de rodillo se desplazan sobre las levas a medida que el eje gira, generando un movimiento de subida y bajada sincronizado que excita el sistema de suspensión de las dos ruedas.

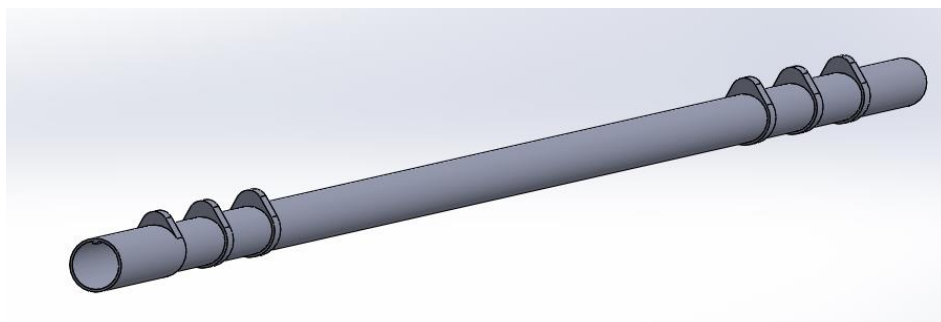


Figura 20: Eje mecanizado con levas para 2 ruedas.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 21: Ensamble de eje y motor.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Cabe destacar que este nuevo diseño requiere un motor eléctrico de mayor potencia en comparación con soluciones anteriores. Esto se debe a la necesidad de generar suficiente fuerza para mover simultáneamente dos ruedas con el mismo nivel de precisión y confiabilidad, a pesar de la mayor longitud del árbol de levas.

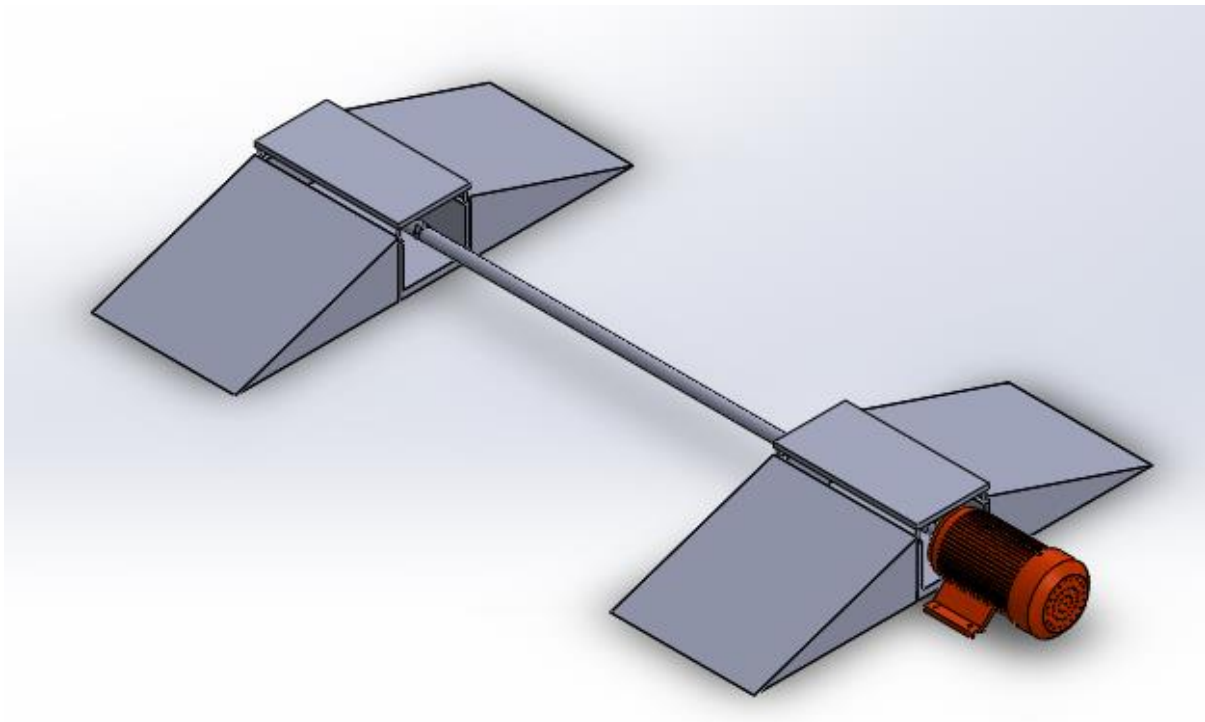


Figura 22: Ensamble completo de banco de prueba para dos ruedas (PS₃).
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- **Posible Solución 4 (PS₄)**

Se propone un diseño para un banco de pruebas de suspensión que emplea un mecanismo innovador inspirado en un árbol de levas. Este mecanismo consiste en un eje principal mecanizado con levas excéntricas, similar a un cigüeñal.

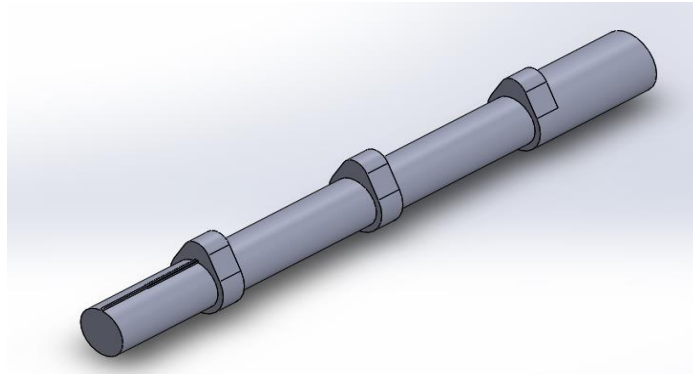


Figura 23: Eje mecanizado con levas
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

El banco de pruebas integra el árbol de levas principal en su estructura. Un motor eléctrico acciona este árbol de levas, haciendo que gire. El mecanismo incorpora un seguidor de rodillo soldado a la placa superior. Este seguidor se desplaza sobre la leva a medida que el eje gira, generando un movimiento de subida y bajada que excita el sistema de suspensión.

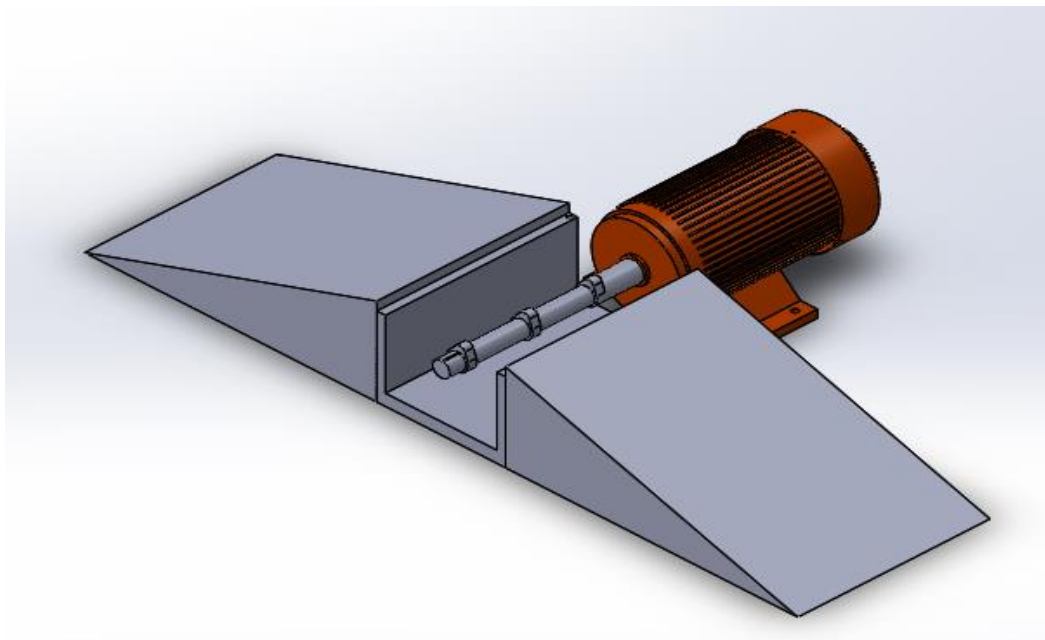


Figura 24: Ensamble del motor, base y eje.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

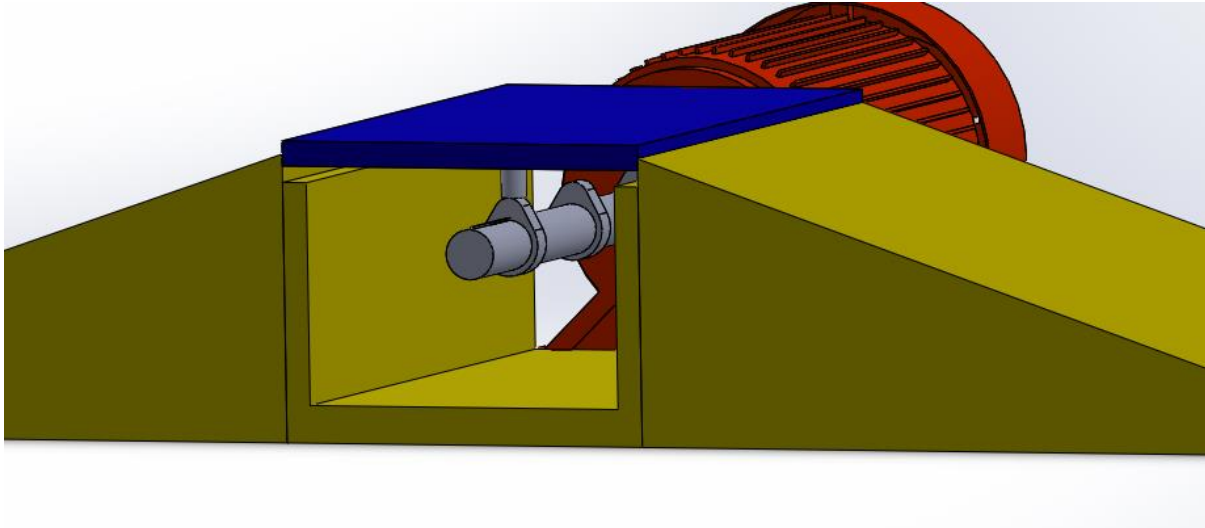


Figura 25: Ensamble completo del banco de pruebas con un árbol de levas (PS₄).

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

4.3.2 Restricciones a Soluciones

Se aplican restricciones para orientar la investigación y determinar cuál entre las posibles soluciones es la mejor. Estas restricciones son factores que limitan las opciones de los diferentes diseños del trabajo de investigación. Pueden estar relacionadas con el tiempo, el costo, el alcance, los recursos, la tecnología, entre otros. Las restricciones que se aplican en este trabajo de investigación son:

- **Facilidad de mantenimiento (R₁):** El banco de pruebas debe ser diseñado para ser fácil de mantener y reparar. Esto implica la selección de componentes modulares y de fácil acceso, así como la disponibilidad de documentación y herramientas de mantenimiento.
- **Facilidad de uso (R₂):** Control y sencillez del uso del banco, para mayor comodidad.
- **Costo de fabricación (R₃):** Evaluar el costo de construcción del banco de pruebas. Estas restricciones de costos incluyen el presupuesto completo y cualquier aspecto de valor financiero requerido para el proyecto. Se busca que el precio no sea muy elevado.
- **Tiempo (R₄):** Periodo de tiempo requerido para garantizar la construcción del proyecto.
- **Calidad del Banco (R₅):** Medida que determina las expectativas del banco.

- **Durabilidad (R₆):** El banco de pruebas debe ser diseñado para tener una vida útil prolongada. Esto implica la selección de materiales y componentes de alta calidad, así como la implementación de procedimientos de mantenimiento preventivo.
- **Normativa (R₇):** El banco de pruebas debe cumplir con todas las normas y regulaciones aplicables. Esto incluye normas de seguridad, normas ambientales y normas de construcción.

A continuación, se realiza un cuadro en el que se evaluarán las posibles soluciones en función de las restricciones establecidas, con el fin de determinar cuál o cuáles son las mejores soluciones y cuál o cuáles se deberían descartar.

Cuadro 6. Restricciones a Posibles Soluciones.

Posibles Soluciones		Restricciones						
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
Banco de prueba de sistema de suspensión para vehículos automotores ligeros con un sistema de cigüeñal y pistón.	PS ₁	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Banco de pruebas con un árbol de levas para una rueda.	PS ₂	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Banco de prueba para dos ruedas.	PS ₃	No	Sí	No	Sí	Sí	Si	Si
Banco de pruebas con una sola leva circular.	PS ₄	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Análisis de las restricciones:

- **Facilidad de mantenimiento (R₁):**
 - ✓ El banco de prueba PS₁ es difícil de mantener.
 - ✓ Los demás bancos de prueba son fáciles de mantener.
- **Facilidad de uso (R₂):**
 - ✓ Todos los bancos de prueba son fáciles de usar.
- **Costo de fabricación (R₃):**
 - ✓ El banco de prueba PS₁ es costoso de fabricar.
 - ✓ Los demás bancos de prueba son menos costosos de fabricar.

- **Tiempo (R4):**
 - ✓ El banco de prueba PS1 toma más tiempo para construir.
 - ✓ Los demás bancos de pruebas se pueden construir en menos tiempo.
- **Calidad del Banco (R5):**
 - ✓ Todos los bancos de prueba son de alta calidad.
- **Durabilidad (R6):**
 - ✓ Todos los bancos de prueba son duraderos.
- **Normativa (R7):**
 - ✓ Todos los bancos de prueba cumplen con las normas y regulaciones aplicables.

Las posibles soluciones que cumplen con todos los criterios son la PS₂ y la PS₄. Dejando así por fuera, las posibles soluciones PS₁ y PS₃, ya que incumplen con ciertas restricciones que se establecieron anteriormente.

4.3.3 Criterios a Soluciones

Se aplican ciertos criterios que se deben de tomar en cuenta que serán evaluados y ponderados, para así, poder escoger la mejor solución para la construcción del banco. Dichos criterios son:

- ✓ **Menor costo de fabricación (C₁)**
- ✓ **Mayor seguridad de uso (C₂)**
- ✓ **Mayor facilidad de instalación y mantenimiento (C₃)**
- ✓ **Mejor mecanismo para mayor durabilidad (C₄)**
- ✓ **Mayor facilidad de construcción (C₅)**
- **Ponderación de Criterios**

A continuación, se procede a elaborar un cuadro donde se van a ponderar los criterios anteriormente mencionados, con un orden de importancia relativa, y un orden de escala numérica a la cual se le asignará un valor a cada criterio. En este caso, tenemos cinco criterios, por lo tanto, para la ponderación de estos, tendremos una escala del uno (1) al cinco (5), considerando el 1 como el menos importante y el 5 como el más importante.

Tabla 1. Ponderación de Criterios.

Criterio	Importancia	Ponderación de criterios (PC _x) (Escala Numérica: 1-5)
Menor costo de fabricación	1ero	PC ₁ = 3
Mayor seguridad de uso	2do	PC ₂ = 4
Mayor facilidad de instalación y mantenimiento	3ro	PC ₃ = 2
Mejor mecanismo para mayor durabilidad	4to	PC ₄ = 1
Mayor facilidad de construcción	5to	PC ₅ = 5

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- **Ponderación de las Soluciones con Respecto a Cada Criterio**

Tabla 2. Ponderación de las soluciones respecto a C₁. (Menor costo de fabricación).

C ₁	S ₂	S ₄	Nº DE VECES	P _{X1} = N (Escala numérica: 1 – 2)
S ₂			1	P ₂₁ = 2
S ₄	S ₂		0	P ₄₁ = 1
Orden de Importancia	2do	1ero		

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Tabla 3. Ponderación de las soluciones respecto a C₂. (Mayor seguridad de uso).

C ₂	S ₁	S ₂	Nº DE VECES	P _{X1} = N (Escala numérica: 1 – 2)
S ₂			0	
S ₄	S ₄		1	
Orden de Importancia	2do	1ero		

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Tabla 4. Ponderación de las soluciones respecto a C₃. (Mayor facilidad de instalación y mantenimiento).

C ₃	S ₁	S ₂	N° DE VECES	P _{X1} = N (Escala numérica: 1 – 2)
S ₂			1	P ₂₃ = 2
S ₄	S ₂		0	P ₄₃ = 1
Orden de Importancia	2do	1ero		

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Tabla 5. Ponderación de las soluciones respecto a C₄. (Mejor mecanismo para mayor durabilidad).

C ₄	S ₁	S ₂	N° DE VECES	P _{X1} = N (Escala numérica: 1 – 2)
S ₂			0	P ₂₄ = 1
S ₄	S ₄		1	P ₄₄ = 2
Orden de Importancia	2do	1ero		

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Tabla 6. Ponderación de las soluciones respecto a C₅. (Mayor facilidad de construcción).

C ₅	S ₁	S ₂	N° DE VECES	P _{X1} = N (Escala numérica:
S ₂			1	P ₂₅ = 2
S ₄	S ₂		0	P ₄₅ = 1
Orden de Importancia	2do	1ero		

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- **Ponderación final de soluciones**

Para elegir la mejor solución, se multiplica la importancia de cada criterio (ponderación) por el valor que cada solución ofrece para ese criterio. Luego, se suman los resultados de todas las multiplicaciones.

Tabla 7. Ponderación final de las soluciones.

		S ₂		S ₄	
	PC _X	P _{2X}	PC _X · P _{2X}	P _{4X}	PC _X · P _{4X}
C ₁	3	2	6	1	3
C ₂	4	1	4	2	8
C ₃	2	2	4	1	2
C ₄	1	1	1	2	2
C ₅	5	2	10	1	5
$\Sigma (PC_X \cdot P_{PK}) = X_P$		25		20	

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

En base a los resultados del cuadro anterior, se observa que la mejor alternativa para el banco de pruebas de suspensión con árbol de levas para una rueda es la Solución Nro. 2. Esta conclusión se desprende de la sumatoria de las multiplicaciones entre las ponderaciones de cada criterio y las calificaciones de las soluciones, donde la Solución Nro. 2 obtuvo la mayor puntuación total.

4.4 Elementos Constitutivos del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros

En esta fase se identifican los elementos que conforman el banco de prueba seleccionado para su construcción. Además, se deberán de hacer respectivos cálculos para las medidas de los elementos requeridos.

4.4.1 Dimensiones del Equipo

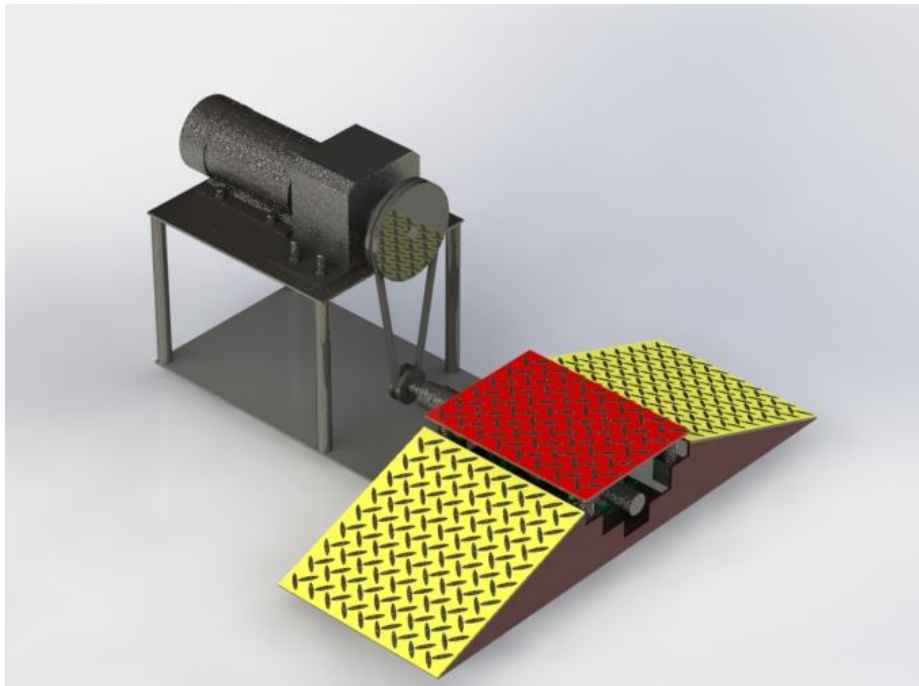


Figura 26: Modelo del banco de pruebas a construir, renderizado en SolidWorks.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- **Capacidad máxima de carga**

Se diseñó este banco con una capacidad máxima de operación del diseño donde el banco pueda aguantar un peso de hasta 600 kg.

- **Longitud del Banco**

Se busca que el banco de pruebas tenga una longitud moderada, que no sea muy grande, pero que a su vez sea efectivo y brinde una buena seguridad y eficacia a la hora de realizar las pruebas. Esto también con la finalidad de que sea un equipo que pueda ubicarse fácilmente en taller, sin la necesidad de buscar espacios tan amplios para su localización. Como se puede apreciar en el apéndice A.10, vemos que el diseño abarca unas dimensiones de 1.100 mm x 1.100 mm, lo cual hace ver que es un banco con longitudes no tan grandes para su fácil ubicación.

- **Altura del Banco**

En ese diseño, también se busca que la altura del banco no sea tan alta, esto debido también a que el vehículo no quede muy levantado por la zona de la suspensión la cual será sometida a la prueba, y así poder elaborar un diagnóstico más preciso. Como podemos ver en

el diseño, la altura máxima del banco es de unos 182 mm aproximadamente, tomando en cuenta que el banco superior está en su zona más elevada.

4.4.2 Dimensiones del Eje

Para obtener las medidas del eje que se va a utilizar, tomamos en cuenta el ancho del banco, que son 400 mm (0,40 m), y lo alargamos unos 100 mm (0,10 m) más para darle espacio al acople entre el motor y el banco de pruebas. En este proyecto, el tipo de material que se elige para el eje, es un acero AISI 1045, el cual es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Este acero es ampliamente utilizado en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como: manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media, etc.

Para la obtención del diámetro del eje se realizaron los cálculos que observaremos a continuación, donde se llevaron a cabo tanto la teoría de Von Mises, como la teoría de Sodeberg, obteniendo lo siguiente:

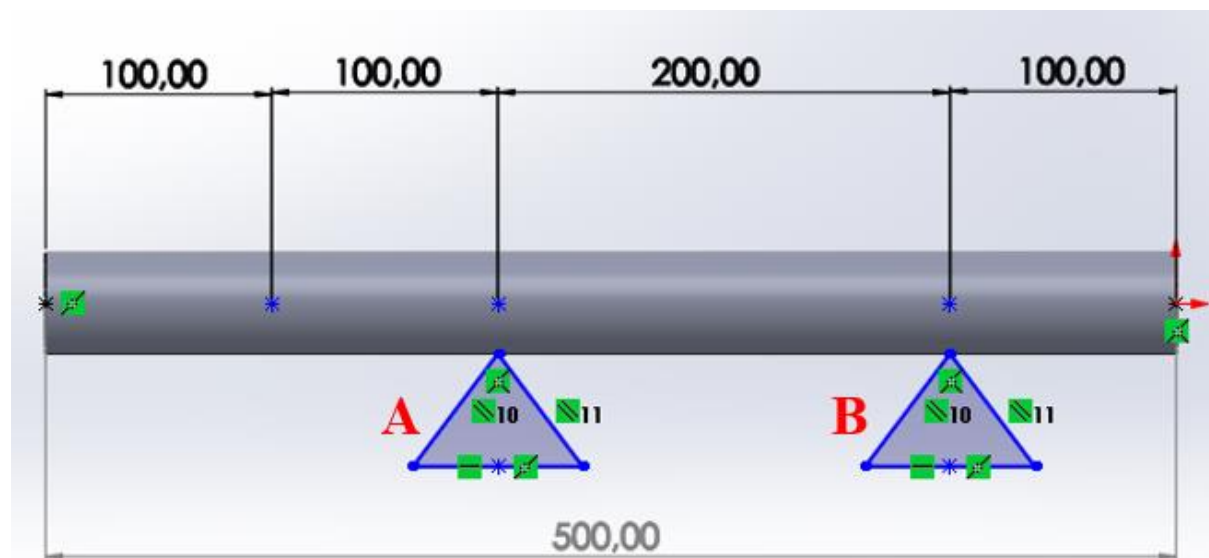


Figura 27: Medidas del eje y ubicación de soportes.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Donde A y B son chumaceras que sostendrán el eje.

La fuerza que se aplicará por el medio entre A y B será de 600 kg que es igual a 5886N. El acero usado será un acero AISI 1045 laminado en frío. Entonces, tenemos:

$$S_y = 531 \text{ MPa}$$

$$S_u = 627 \text{ MPa}$$

Elaboramos un diagrama de cuerpo libre (DCL),

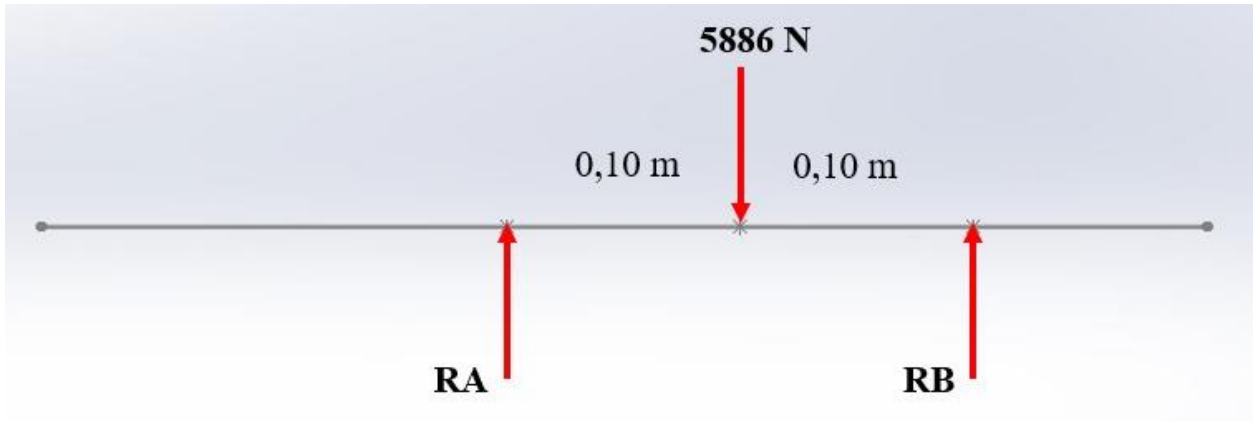


Figura 28: Diagrama de cuerpo libre – Eje.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

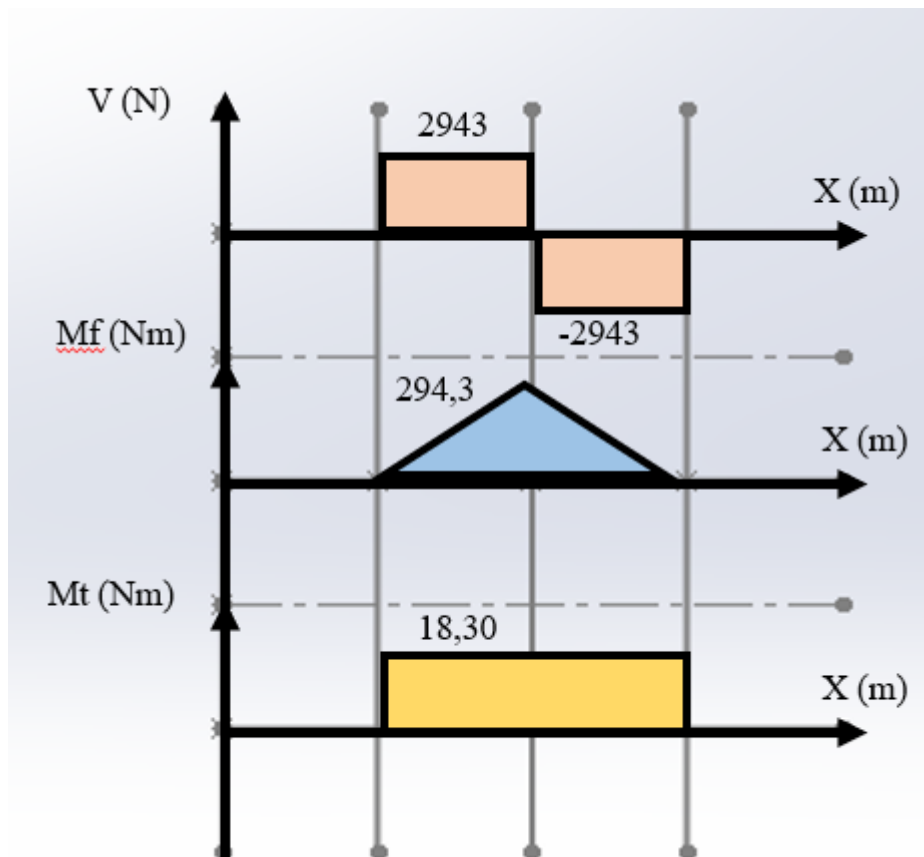


Figura 29: Diagrama de fuerza cortante, momento flector y momento torsor – Eje.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

$$\sum M_B = 0$$

$$0,1(5886) - (0,2)R_A = 0$$

$$R_A = \frac{0,1(5886)}{0,2}$$

$$R_A = 2943 N = R_B$$

En este proyecto utilizaremos como requisito, un motor con una potencia de 3 HP y un rango de velocidad de (1000 - 1500) RPM.

Seleccionamos un motor del catálogo ABB, el motor seleccionado es M2QA-112L6A a 1148 RPM Y 3 HP = 2,2 KW.

Potencia		Eficiencia [%] Factor de potencia % de la potencia nominal	In	Is	Ivacio	Tn	Ts	Tmax	Momento de inercia J=1/4GD2	Peso	Ruido								
[kW]	[HP]																		
Tipo	r/min	50	75	100	50	75	100	FS	[A]	In	[A]	[Nm]	Tn	Tn	Tn	[kgm2]	[kg]	[dBA]	
6 polos = 1200 r/min		440 V 60 Hz																	
0,25	0,33	M2QA 71 M6B	1080	52,9	57,9	59,8	0,40	0,50	0,61	1,15	0,90	3,6	0,7	2,2	1,9	2,5	0,00074	11	46
0,37	0,5	M2QA 80 M6A	1108	56,3	61,3	63,3	0,40	0,54	0,65	1,15	1,2	4,8	0,9	3,2	2,0	2,0	0,00159	17	49
0,55	0,75	M2QA 80 M6B	1105	58,4	63,1	64,9	0,42	0,56	0,67	1,15	1,7	3,7	1,3	4,8	1,9	1,9	0,00196	18	49
0,75	1	M2QA 90 S6A	1111	63,9	69,0	70,8	0,48	0,63	0,72	1,15	1,9	3,6	1,4	6,4	2,1	2,3	0,00292	21	52
1,1	1,5	M2QA 90 L6A	1105	67,2	72,0	73,3	0,51	0,65	0,75	1,15	2,7	3,7	1,9	9,7	2,0	2,4	0,00379	25	52
1,5	2	M2QA 100 L6A	1135	70,1	74,9	76,3	0,52	0,66	0,75	1,15	3,4	4,1	2,1	12,5	2,1	2,3	0,00999	32	55
2,2	3	M2QA 112 M6A	1148	73,3	78,0	79,3	0,51	0,65	0,75	1,15	4,9	4,1	2,8	18,3	2,1	2,3	0,03116	40	58
3	4	M2QA 112 M6B*	1140	76,6	80,6	80,6	0,55	0,69	0,77	1	6,3	6,5	4,0	28,9	1,9	2,1	0,01990	45	59
3,7	5	M2QA 132 M6A	1156	78,9	82,7	84,2	0,52	0,65	0,74	1,15	7,8	5,4	5,5	31	2,2	3,1	0,04074	65	59
4,5	6	M2QA 132 M6A	1147	80,8	83,9	84,0	0,58	0,71	0,79	1,15	8,9	5,4	5,5	37	1,8	2,5	0,04074	65	59

Figura 30: Catálogo ABB para la selección de motores eléctricos.
Fuente: ABB GROUP.

$$M_t = \frac{P_{eje}}{W_{RPM}} = \frac{2200 W}{1148 RPM} * \frac{60 \frac{rad}{s}}{2\pi} = 18,30 Nm$$

Punto Crítico C

Para aceros,

$$S'_n = 0,5 * S_u$$

$$S'_n = 0,5 * 627$$

$$S'_n = 313,5 MPa$$

Factores de Marín

$$C_s = A(S_u)^b$$

Tomamos los valores de la figura 32, de los coeficientes para la ecuación del factor superficial $C_s = A(S_u)^b$.

Acabado superficial	MPa		kPsi	
	A	b	A	b
Rectificado	1,58	-0,085	1,34	-0,085
Maquinado o estirado en frío	4,51	-0,265	2,7	-0,265
Laminado en caliente	57,7	-0,718	14,4	-0,718
Forjado	272	-0,995	39,9	-0,995

Figura 31: Coeficientes para la ecuación del factor superficial $C_s = A(S_u)^b$

Fuente: Microsoft W. Apéndice B- Factor superficial C_s .

$$C_s = 4,51(627)^{-0,265}$$

$$C_s = 0,82$$

$$C_d = 0,85; C_{cf} = 0,83 \rightarrow 99\%; C_t = 1; C_c = 0,6; C_a = 0,9 \text{ (Ver figura 33 y 34)}$$

- b) **Dimensiones de la pieza (C_d).** En la figura 6.11 vimos que la dimensión característica de la sección transversal de la probeta del ensayo propuesto por Moore, es de 7,62 mm de diámetro, si nos referimos a los ensayos de tracción estáticos, experimentalmente se ha comprobado que tanto la resistencia a la fluencia como a la ruptura se ven modificadas por el área resistente a la tensión, y es por eso que los factores de corrección pueden resumirse así:
- $C_d = 1$ para medidas de la sección transversal de hasta $d = 12,5$ mm.
 $C_d = 0,85$ para medidas de la sección transversal de $12,5 \text{ mm} < d < 50,0$ mm.
 $C_d = 0,75$ para medidas de la sección transversal de $50,0 \text{ mm} < d < 100,0$ mm.
 O utilizar la relación $C_d = 1,189d^{-0,097}$ para $100 \text{ mm} \leq d \leq 250$ mm.
 Para medidas mayores que las indicadas deberán efectuarse pruebas de laboratorio.
- c) **Confiabilidad funcional, (C_{cf}).** La totalidad de la información referida a valores de resistencia, tanto de fluencia como de ruptura, de los ensayos a tracción estáticos y de los valores de resistencia a la fatiga y del límite de fatiga, según sea el caso y el material de fabricación de la pieza, indican que de acuerdo a su fabricación, los valores que se reportan están en una banda de dispersión del 50%; esto significa que solo la mitad de las piezas presentarán, por lo menos, la durabilidad esperada según las condiciones de trabajo que le han sido impuestas. Si la confiabilidad funcional que se desea tener es del 50%, el valor del factor $C_{cf} = 1$; pero, si deseamos una confiabilidad mayor, por ejemplo del 99%, entonces $C_{cf} = 0,83$ (ver F.Stulen, H. Cummings, W. Schulte, "Preventing Fatigue Failures", parte 5, Machine Design, Volumen 33, p. 161, 1961). Para valores que aseguren la supervivencia de casi la totalidad de las piezas, digamos del 99,99%, el valor de C_{cf} sería de 0,72.
- d) **Temperatura de trabajo, (C_t).** Para valores de temperatura cercanos a la temperatura del ambiente, utilizar $C_t = 1$. Para condiciones de trabajo que se sitúen a "bajas", o bien a "altas" temperaturas, el factor debe determinarse. Forzosamente, esto deberá realizarse por medio de ensayos de laboratorio que simulen las condiciones de trabajo a las cuales estará sometida la pieza. Si la temperatura de trabajo oscila entre 450° y 550°C utilizar $C_t = 1 - 0,0058(T-450)$.

Figura 32: Factores de corrección de Marín C_d , C_{cf} y C_t .
Fuente: Libro Elementos de Máquinas, Tassoni.

- e) **Corrección por Carga Axial, (C_a)**. Mientras existan solamente cargas de flexión en un ensayo de fatiga, sólo las fibras externas estarán sometidas al máximo de las tensiones; pero si existe una carga axial variable, que genere tensiones, alternativas, repetidas o fluctuantes, todas las

88

fibras transversales estarán sometidas a dicha tensión y esto aumenta la posibilidad de falla por fatiga, si un sistema como este está actuando $C_a = 0,9$.

- f) **Corrección por Carga de corte, (C_c)**. Cuando esté presente un sistema de carga que introduzca tensiones de corte variables, se ha encontrado en función de la maleabilidad del material de la pieza, los siguientes valores experimentales
- $C_c = 0,5$ para materiales muy dúctiles.
 - $C_c = 0,6$ para materiales medianamente dúctiles (aceros).
 - $C_c = 0,8$ para materiales frágiles.

Figura 33: Factores de corrección de Marín C_a y C_c .

Fuente: Libro Elementos de Máquinas, Tassoni.

$$S_n = S'_n * C_s * C_d * f C_{cf} * C_t * C_c * C_a$$

$$S_n = 313,5 * 0,82 * 0,85 * 0,83 * 1 * 0,6 * 0,9$$

$$S_n = 97,936 \text{ MPa}$$

Buscamos los esfuerzos,

$$\tau_{FR} = \frac{4FR}{\pi D^2} = \frac{4(5886)}{\pi D^2} = 7494,29 D^{-2}$$

$$\tau_{M_t} = \frac{16M_t}{\pi D^3} = \frac{16(18,30)}{\pi D^3} = 93,20D^{-3}$$

$$\tau_{M_f} = \frac{32M_f}{\pi D^3} = \frac{32(294,3)}{\pi D^3} = 2997,72D^{-3}$$

$$\tau_{Res} = \sqrt{\tau F R^2 + \tau M_t^2}$$

$$\tau_{Res} = \sqrt{56164232,72D^{-4} + 8686,24D^{-6}}$$

Asumimos que:

$$\frac{D}{d} = 1,5; \frac{r}{d} = 0,17; r = 0,17$$

$$\sqrt{a} = 0,07 \rightarrow \text{Figura 34}$$

S_u		\sqrt{a}			
		Carga axial y flexión		Torsión	
(ksi)	(MPa)	(in ^{0.5})	(mm ^{0.5})	(in ^{0.5})	(mm ^{0.5})
50	345	0.130	0.66	0.093	0.47
55	380	0.118	0.59	0.087	0.44
60	415	0.108	0.54	0.080	0.40
70	485	0.093	0.47	0.070	0.35
80	550	0.080	0.40	0.062	0.31
90	620	0.070	0.35	0.055	0.28
100	690	0.062	0.31	0.049	0.25
110	760	0.055	0.28	0.044	0.22
120	825	0.049	0.25	0.039	0.20
130	895	0.044	0.22	0.035	0.18
140	965	0.039	0.20	0.031	0.16
160	1100	0.031	0.16	0.024	0.12
180	1240	0.024	0.12	0.018	0.09
200	1380	0.018	0.09	0.013	0.07
220	1515	0.013	0.07	0.009	0.05
240	1655	0.009	0.05		

Figura 34: Tabla de la Constante de Neuber para aceros (fuente: Norton^[2]).

Fuente: FACTORES DE SEGURIDAD (COEFICIENTES DE CÁLCULO), <https://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2016/08/Tablas.pdf..>

Apéndice $\left\{ \begin{array}{l} K_T M_f = 1,5 \text{ Figura 35} \\ K_T M_t = 1,3 \text{ Figura 36} \end{array} \right\}$

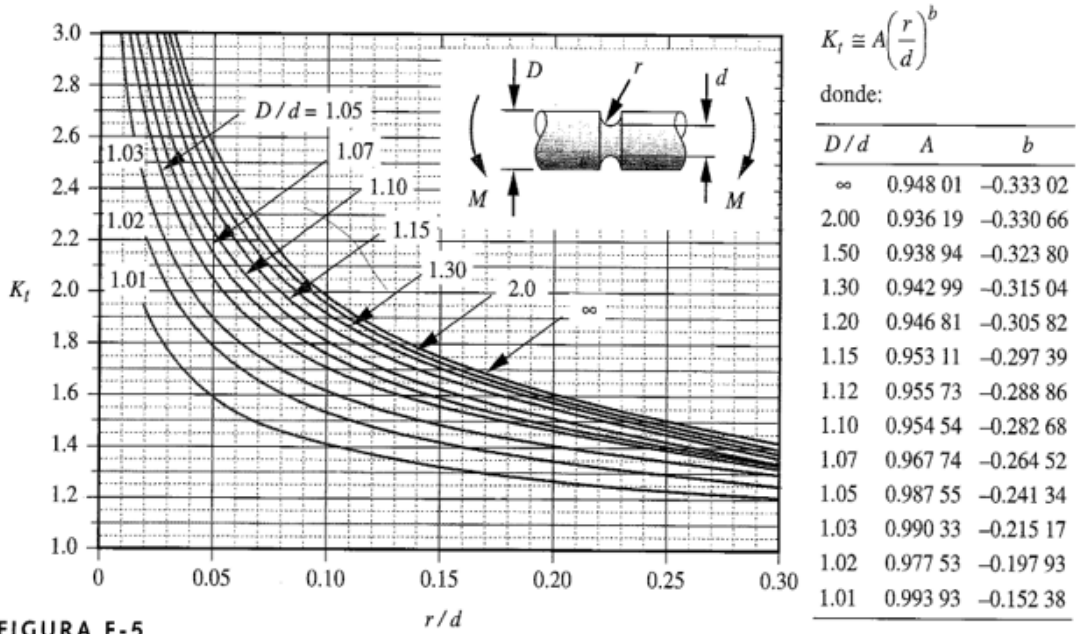


FIGURA E-5
Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha ranurada a flexión

Figura 35: Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha ranurada a flexión.

Fuente: R.E. Peterson, “Design Factors for Stress Concentration, Parts 1 to 5”, Machine Design (1951).

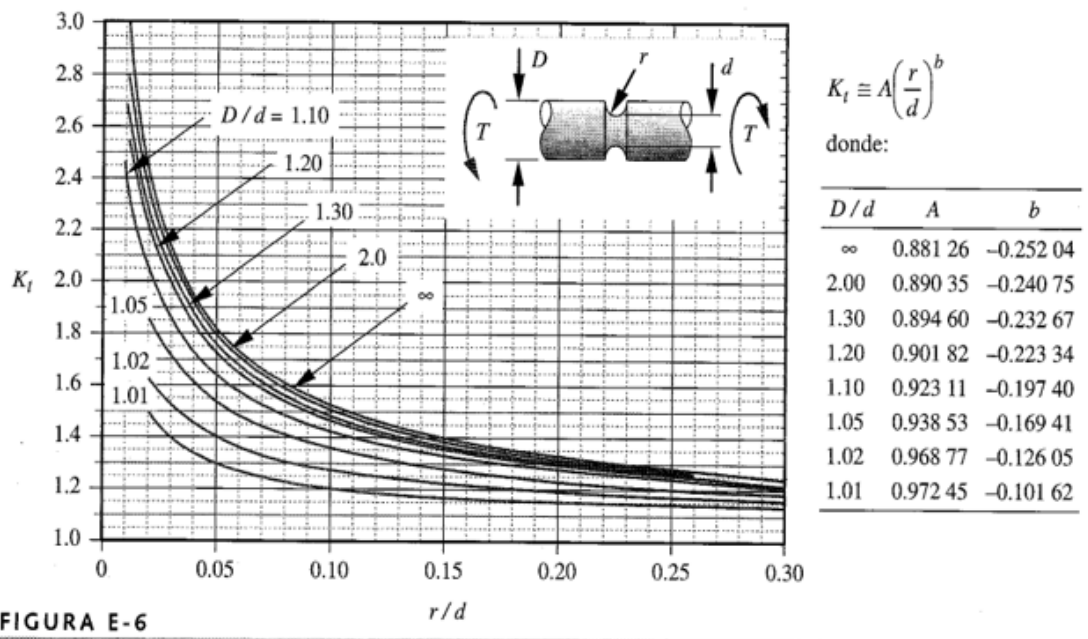


FIGURA E-6
Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha ranurada a torsión

Figura 36: Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una flecha ranurada a torsión.

Fuente: R.E. Peterson, “Design Factors for Stress Concentration, Parts 1 to 5”, Machine Design (1951).

$$q = \left(1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}} \right)^{-1}$$

$$q = \left(1 + \frac{0,07}{\sqrt{0,17}}\right)^{-1}$$

$$q = 0,85$$

$$K_f(M_f) = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0,85(1,5 - 1) = 1,425$$

$$k_e(M_t) = 1 + q(K_e - 1) = 1 + 0,85(1,3 - 1) = 1,255$$

Esfuerzos Equivalente

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_{m\acute{i}n} = \sigma_m = 0 \wedge \sigma_a = 6 m$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \tau_{m\acute{i}n} = \tau_m = \tau_{Res} \wedge \tau_a = 0$$

$$\sigma_e M_f = K_T M_f * \sigma_a M_f \left(\frac{S_y}{S_n}\right)$$

$$\sigma_e M_f = 1,425 * (2997,72D^{-3}) \left(\frac{531}{97,936}\right)$$

$$\sigma_e M_f = 23161,042D^{-3}$$

$$\tau_e(M_t) = K_e(M_t)\tau_m$$

$$\tau_e(M_t) = 1,255\sqrt{56164232,72D^{-4} + 8686,24D^{-6}}$$

Aplicamos VMH: Asumimos $N = 2$

$$S_y = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2}$$

$$\frac{531 * 10^6}{2} = \sqrt{559254579,3D^{-6} + 211458336,2D^{-4} + 41043,13D^{-6}}$$

$$265,5 * 10^6 = \sqrt{559295622,4D^{-6} + 211458336,2D^{-4}}$$

Aplicando solve, tenemos que:

$$D = 0,044 = 44 mm$$

Asumimos $N = 2$: Sodeberg

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = 0$$

$$\sigma_a = \frac{S_e}{n} \Rightarrow \frac{32M_f}{\pi D^3} = \frac{97,936}{2}$$

$$\frac{32(293,4)}{\pi D^3} = 48,968 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$D = 0,03941 = 39,41 \text{ mm}$$

Usando ASME: $N = 2$

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_f}{S_n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{M_t}{S_y}\right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1,425(294,3)}{97,936 * 10^6}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{18,30}{531 * 10^6}\right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = \left[20,37 \sqrt{(1,833 * 10^{-11}) + (8,908 * 10^{-16})} \right]^{1/3}$$

$$D = 0,04434$$

$$D = 44,34 \text{ mm} \approx 1 \frac{3}{4}''$$

Tenemos entonces como resultado, que el diámetro del eje para soportar la carga de 600 kg (5886 N) es de 44, 34 mm, lo que es igual a 1 ¾".

Para soportar los cálculos hechos se le hizo un análisis estático en SolidWorks al eje, se obtuvieron los siguientes resultados:

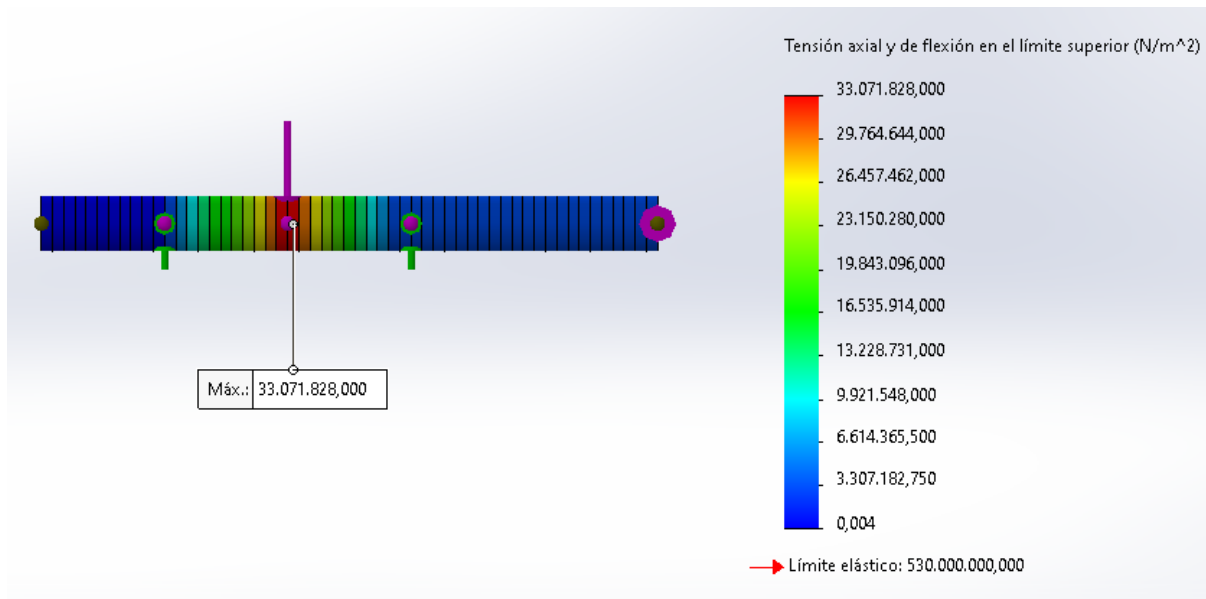


Figura 37: Análisis Estático.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

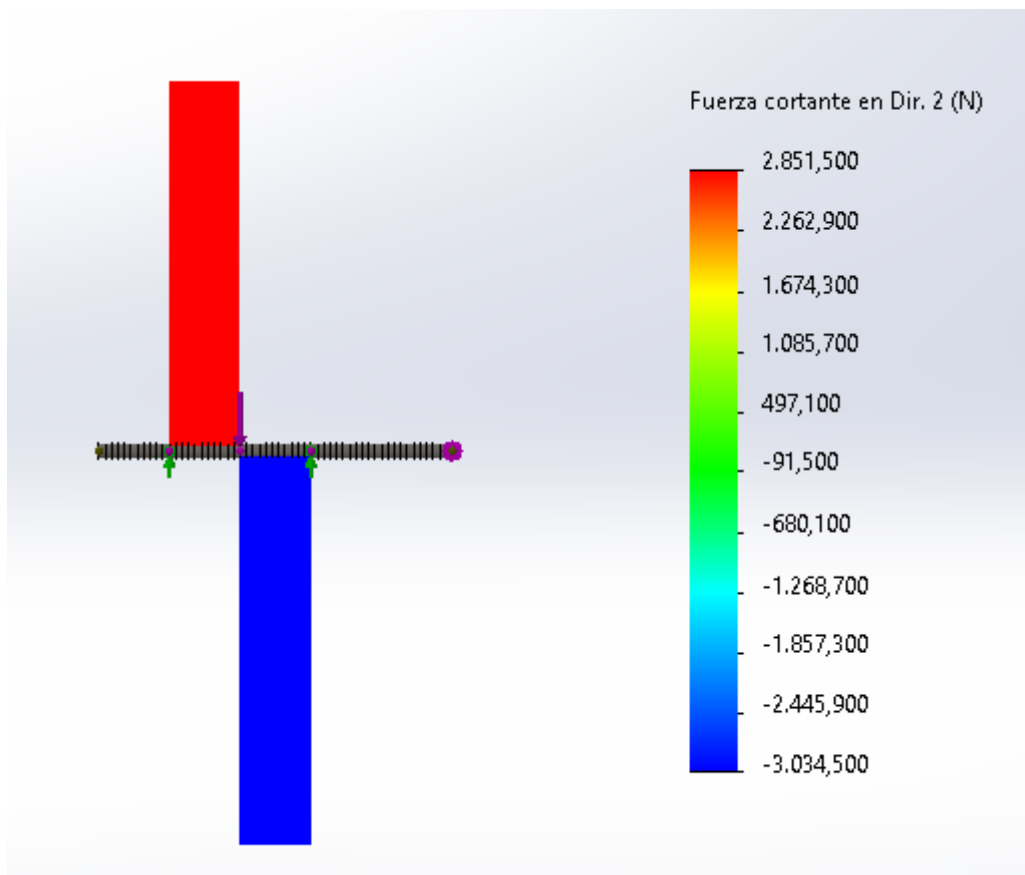


Figura 38: Diagrama de fuerza cortante.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

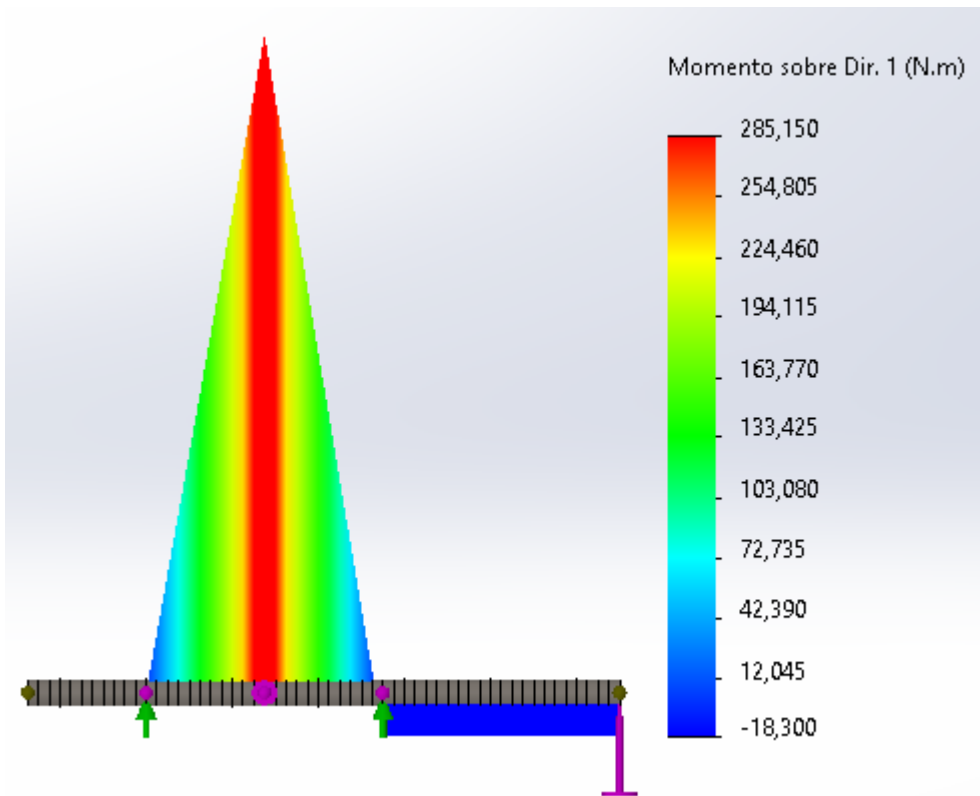


Figura 39: Diagrama de momento torsor.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

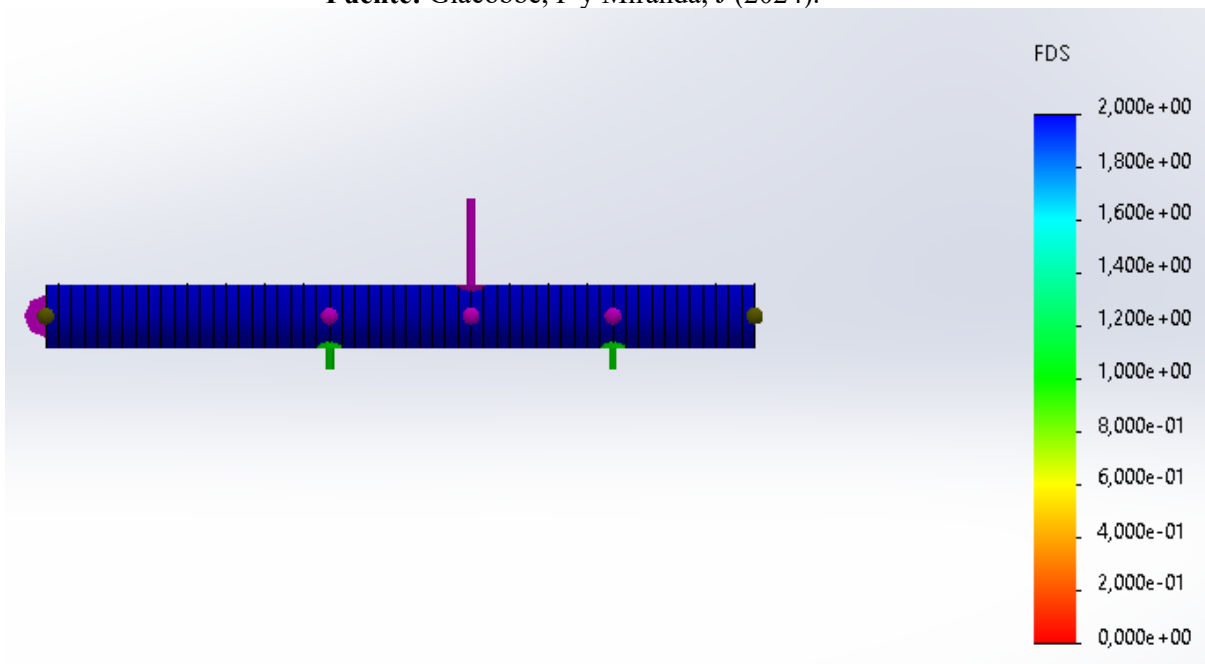


Figura 40: Diagrama de factor de seguridad.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Se puede observar que los cálculos hechos anteriormente son similares a los resultados obtenidos por el software CAD Solidworks.

4.4.3 Dimensiones de Rodamientos y Chumaceras

Para la selección de los rodamientos se usó el manual SKF para la selección de rodamientos con vida infinita. Se necesitan 3 rodamientos, donde 1 irá de sobre camisa de la rueda excéntrica y el restante usará soportes tipo pie. Para la selección de los rodamientos se identificaron las cargas que soportan los rodamientos:

$$F_{rueda\ excéntrica} = 5886\ N$$

$$F_{soportes} = 2943\ N$$

Para el cálculo del rodamiento de la rueda excéntrica:

Datos:

- $d = 65\ mm$
- $F = 5886\ N$

Se hicieron cálculos previos y se determinó que los rodamientos para la rueda excéntrica tienen que ser de rodillos para que cumplan con la condición de diseño infinito.

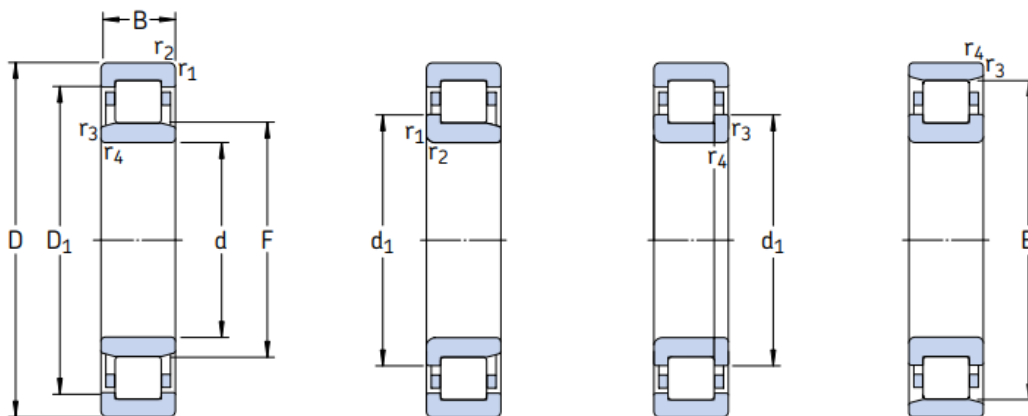


Figura 41: Dimensiones para la selección de rodamientos.
Fuente: Manual SKF.

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa Rodamiento con jaula estándar	Designaciones Rodamiento con jaula estándar	Jaulas estándar de diseño alternativo ¹⁾
d	D	B	Capacidad de carga dinámica C	Capacidad de carga estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	rpm		kg	-	
60	95	18	37,4	44	5,3	8 000	11 000	0,48	NU 1012 ML	-
	110	22	108	102	13,4	6 700	7 500	0,80	* NU 212 ECP	J, M, ML
	110	22	108	102	13,4	6 700	7 500	0,83	* NJ 212 ECP	J, M, ML
	110	22	108	102	13,4	6 700	7 500	0,86	* NUP 212 ECP	J, ML
	110	22	108	102	13,4	6 700	7 500	0,80	* N 212 ECP	M
	110	28	146	153	20	6 700	7 500	1,05	* NU 2212 ECP	J, M, ML
	110	28	146	153	20	6 700	7 500	1,10	* NJ 2212 ECP	J, M, ML
	110	28	146	153	20	6 700	7 500	1,15	* NUP 2212 ECP	J, ML
	130	31	173	160	20,8	5 600	6 700	1,77	* NU 312 ECP	J, M, ML
	130	31	173	160	20,8	5 600	6 700	1,83	* NJ 312 ECP	J, M, ML
	130	31	173	160	20,8	5 600	6 700	1,90	* NUP 312 ECP	J, M, ML
	130	31	173	160	20,8	5 600	6 700	1,80	* N 312 ECP	M
	130	46	260	265	34,5	5 600	6 700	2,75	* NU 2312 ECP	ML
	130	46	260	265	34,5	5 600	6 700	2,80	* NJ 2312 ECP	ML
	130	46	260	265	34,5	5 600	6 700	2,85	* NUP 2312 ECP	ML
	150	35	168	173	22	5 000	6 000	3,00	NU 412	-
150	35	168	173	22	5 000	6 000	3,10	NJ 412	-	
65	100	18	62,7	81,5	9,8	7 000	7 500	0,45	NU 1013 ECP	-
	120	23	122	118	15,6	6 300	6 700	1,03	* NU 213 ECP	J, M, ML
	120	23	122	118	15,6	6 300	6 700	1,07	* NJ 213 ECP	J, M, ML
	120	23	122	118	15,6	6 300	6 700	1,10	* NUP 213 ECP	J, ML
	120	23	122	118	15,6	6 300	6 700	1,05	* N 213 ECP	-
	120	31	170	180	24	6 300	6 700	1,40	* NU 2213 ECP	J
	120	31	170	180	24	6 300	6 700	1,45	* NJ 2213 ECP	J
	120	31	170	180	24	6 300	6 700	1,50	* NUP 2213 ECP	-
	140	33	212	196	25,5	5 300	6 000	2,20	* NU 313 ECP	J, M, ML
	140	33	212	196	25,5	5 300	6 000	2,30	* NJ 313 ECP	J, M, ML
140	33	212	196	25,5	5 300	6 000	2,35	* NUP 313 ECP	J, ML	
140	33	212	196	25,5	5 300	6 000	2,20	* N 313 ECP	M	

Figura 42: Dimensiones para la selección de rodamientos.
Fuente: Manual SKF.

Para efectos del diseño se selecciona un rodamiento NU 2213 ECP.

Datos de aplicación:

- $n_{trabajo} = 1100$ RPM
- Temperatura de trabajo = 25 °C (Temperatura ambiente)
- $F = 5886$ N

Datos del rodamiento:

- Capacidad de carga dinámica $C = 170$ kN
- Capacidad de Carga estática $C_0 = 180$ kN
- Carga límite de fatiga $P_u = 24$ kN
- $n_r = 6300$ RPM
- $n_{limite} = 6700$ RPM

Primero se determina el tipo de engrase según el gráfico 1:

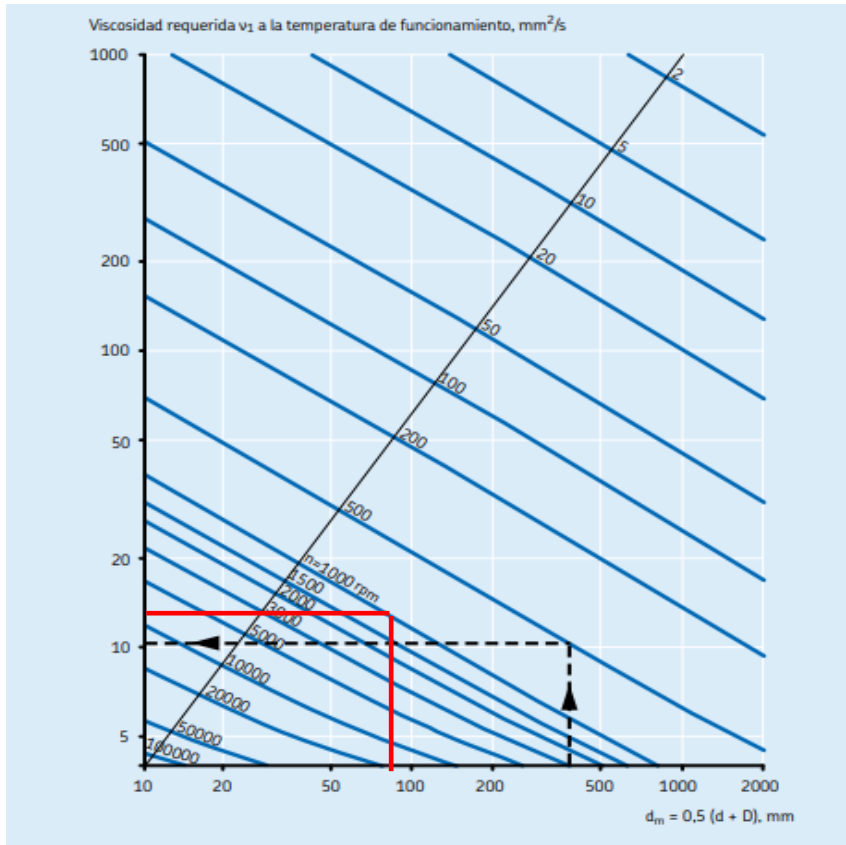


Gráfico 1: Diagrama para la selección de la viscosidad.
Fuente: Manual SKF. Pág. 60.

$$d_m = 0.5 (d + D)$$

$$d_m = 0.5 (65 + 120) = 92.5$$

Del gráfico se obtiene:

- $v_1 = 13 \text{ mm}^2/\text{seg}$

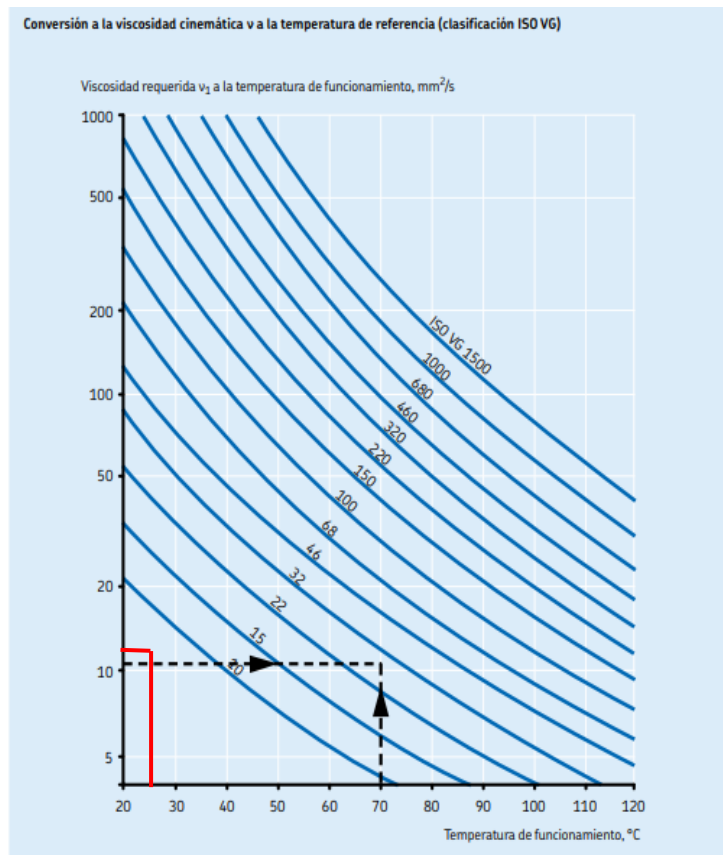


Gráfico 2: Diagrama para la selección del tipo de lubricación.
Fuente: Manual SKF. Pág. 60.

Se escoge ISO VG 10 para el tipo de lubricación.

Para la vida nominal de rodamiento se usa la siguiente ecuación:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 n}\right) \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

Donde:

- n = Velocidad de giro en RPM
- C = Capacidad de carga dinámica kN
- P = Carga equivalente del rodamiento kN
- p = exponente de la ecuación de la vida ($p = 3$ para los rodamientos de bolas; $p = 10/3$ para los rodamientos de rodillos)

Sustituyendo:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 (1100)}\right) \left(\frac{172}{5.886}\right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10h} = 1\,164\,528.25 \text{ hr}$$

$$1\,164\,528.25 \text{ hr} > 1\,000\,000 \text{ hr}$$

Este rodamiento cumple con la condición de diseño para vida infinita.

Para la selección de los rodamientos de las chumaceras se hace el mismo procedimiento:

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa Rodamiento con jaula estándar	Designaciones Rodamiento con jaula estándar	Jaulas estándar de diseño alternativo ¹⁾
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	rpm	kg	-		
40 cont.	90	33	129	120	15,3	8 000	9 500	0,94	* NU 2308 ECP	J, M, ML
	90	33	129	120	15,3	8 000	9 500	0,95	* NJ 2308 ECP	J, M, ML
	90	33	129	120	15,3	8 000	9 500	0,98	* NUP 2308 ECP	M, ML
	110	27	96,8	90	11,6	7 000	8 500	1,25	NU 408	-
	110	27	96,8	90	11,6	7 000	8 500	1,30	NJ 408	-
	45	75	16	44,6	52	6,3	9 500	11 000	0,26	NU 1009 ECP
	85	19	69,5	64	8,15	9 000	9 500	0,43	* NU 209 ECP	J, M, ML
	85	19	69,5	64	8,15	9 000	9 500	0,44	* NJ 209 ECP	J, M, ML
	85	19	69,5	64	8,15	9 000	9 500	0,45	* NUP 209 ECP	J, M, ML
	85	19	69,5	64	8,15	9 000	9 500	0,43	* N 209 ECP	-
	85	23	85	81,5	10,6	9 000	9 500	0,52	* NU 2209 ECP	J
	85	23	85	81,5	10,6	9 000	9 500	0,54	* NJ 2209 ECP	J
	85	23	85	81,5	10,6	9 000	9 500	0,55	* NUP 2209 ECP	-

Figura 43: Dimensiones para la selección de rodamientos de bola.

Fuente: Manual SKF.

Datos de aplicación:

- $n_{\text{trabajo}} = 1100 \text{ RPM}$
- Temperatura de trabajo = 25 °C (Temperatura ambiente)
- $F = 2943 \text{ N}$

Datos del rodamiento:

- Capacidad de carga dinámica $C = 85 \text{ kN}$
- Capacidad de Carga estática $C_0 = 81.5 \text{ kN}$
- Carga límite de fatiga $P_u = 10.6 \text{ kN}$
- $n_r = 9000 \text{ RPM}$
- $n_{\text{limite}} = 9500 \text{ RPM}$

Del gráfico 1 y 2 se obtiene:

$$d_m = 0.5 (d + D)$$

$$d_m = 0.5 (45 + 85) = 65$$

- $v_1 = 17 \text{ mm}^2/\text{seg}$

Y para su lubricación se tiene:

- **ISO VG 10 para el tipo de lubricación**

Considerando la ecuación del catálogo de SKF para la vida nominal de rodamiento se usa la siguiente formula:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 n}\right) \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

Sustituyendo:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 (1100)}\right) \left(\frac{85}{2,943}\right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10h} = 1\,120\,000,65 \text{ hr}$$

$$1\,120\,000,65 \text{ hr} > 1\,000\,000 \text{ hr}$$

El modelo de rodamiento escogido cumple con las condiciones requeridas, el rodamiento a seleccionar es NU 2209ECP.

4.4.4 Selección del Motor

Para la selección del motor nos basamos en el trabajo de grado, titulado “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE AMORTIGUADORES Y MUELLES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO.”, de los autores Luna Paquel Brayan Andrés y Vallejo Tito Jhon Alejandro, para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, presentado en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, donde resaltan que “Para el uso de este mecanismo se debe tomar en cuenta que el motor debe trabajar entre los rangos de 10 a 20 Hz

para obtener datos precisos". Dicho esto, fijamos una frecuencia máxima de 20 Hz para lograr obtener la potencia del motor que requerimos.

Comenzamos hallando las RPM a partir de los 20 Hz con la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{120 * f}{p}$$

Donde:

f : frecuencia

p : polos del motor

En este caso utilizaremos un motor de 4 polos

Entonces, nos queda:

$$RPM = \frac{120 * 20}{4}$$

$$RPM = 600$$

Con las RPM establecidas, procedemos a calcular la potencia del motor que se requiere con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{T * RPM}{63025}$$

Donde:

P : potencia

T : torque

Para calcular el torque, utilizaremos de referencia la rueda excéntrica cuyo diámetro es de 65 mm, tomando en cuenta el radio que es donde se aplica la fuerza, teniendo entonces un radio de 32,5 mm. Con ello calculamos el torque con la siguiente fórmula:

$$T = r * F$$

Donde:

F: fuerza

La fuerza en este caso, como habíamos establecido anteriormente en el cálculo del diámetro del eje, es de 600 kg que es igual a 5886 N.

$$T = 0,0325 * 5886$$

$$T = 191,295 \text{ Nm}$$

Entonces,

$$P = \frac{191,295 * 600}{63025}$$

$$P = 1,82 \text{ HP}$$

Como resultado nos queda que el valor mínimo de la potencia del motor debe de ser de 1,82 HP.

Se dispone de un motor eléctrico trifásico de 3 HP, 1715 RPM, 4 polos y 60 Hz, el cual debemos de reducir su velocidad para poder obtener resultados más precisos, para ello utilizaremos un reductor de velocidad.

4.4.5 Dimensiones de las Planchas para la Estructura del Banco

Para la selección de las planchas que conforman la estructura del banco de pruebas, usamos la ayuda de la herramienta computacional SolidWorks, la cual nos permite realizar análisis de esfuerzos, se utilizó para la construcción láminas estriadas de hierro negro de 6 mm de espesor, se le aplicó análisis de tensión estático y se obtuvieron los siguientes resultados:

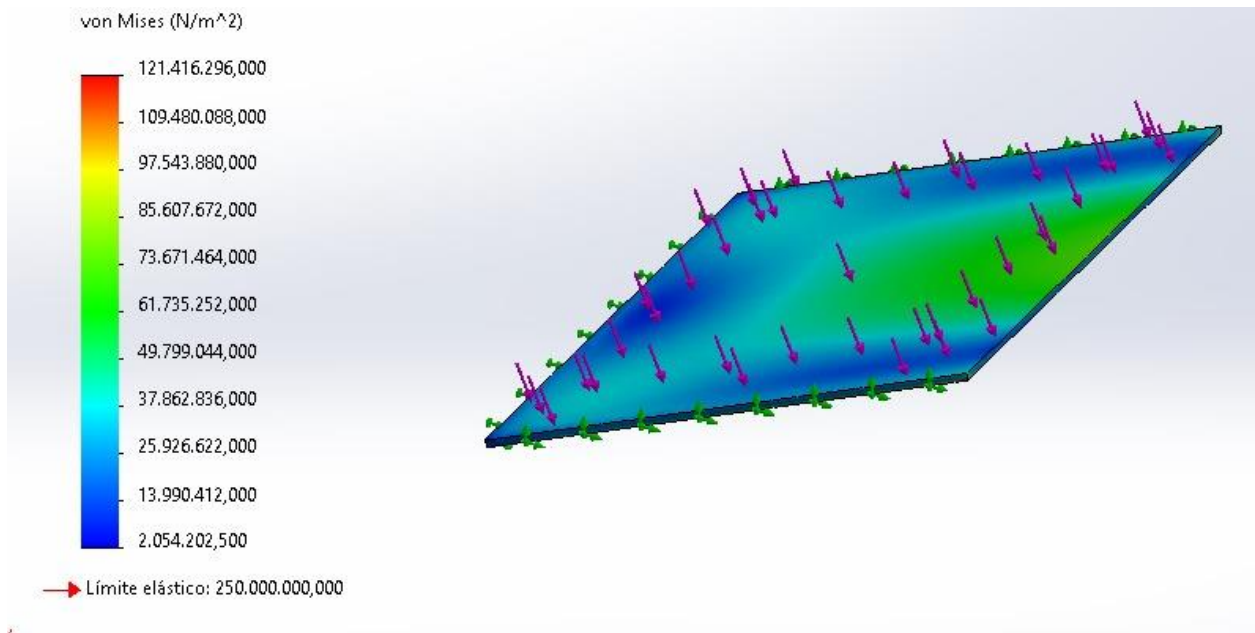


Figura 44: Análisis estático – Rampa.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

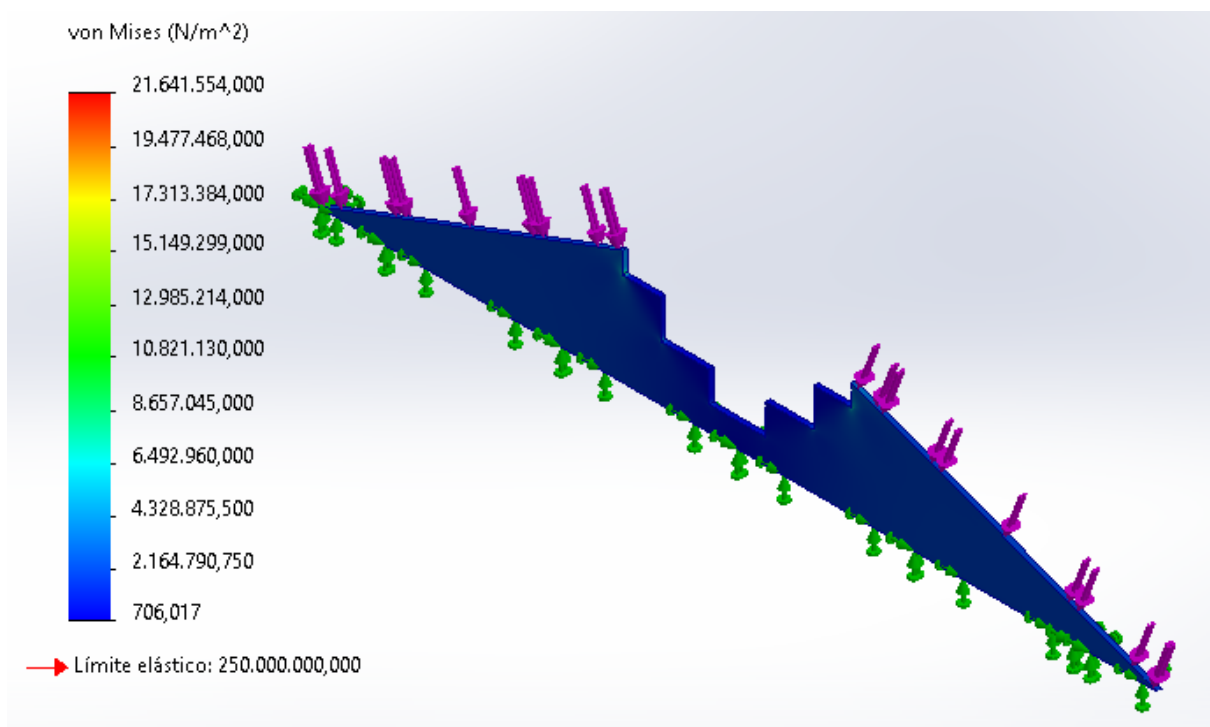


Figura 45: Análisis estático – Soporte de rampa y base.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

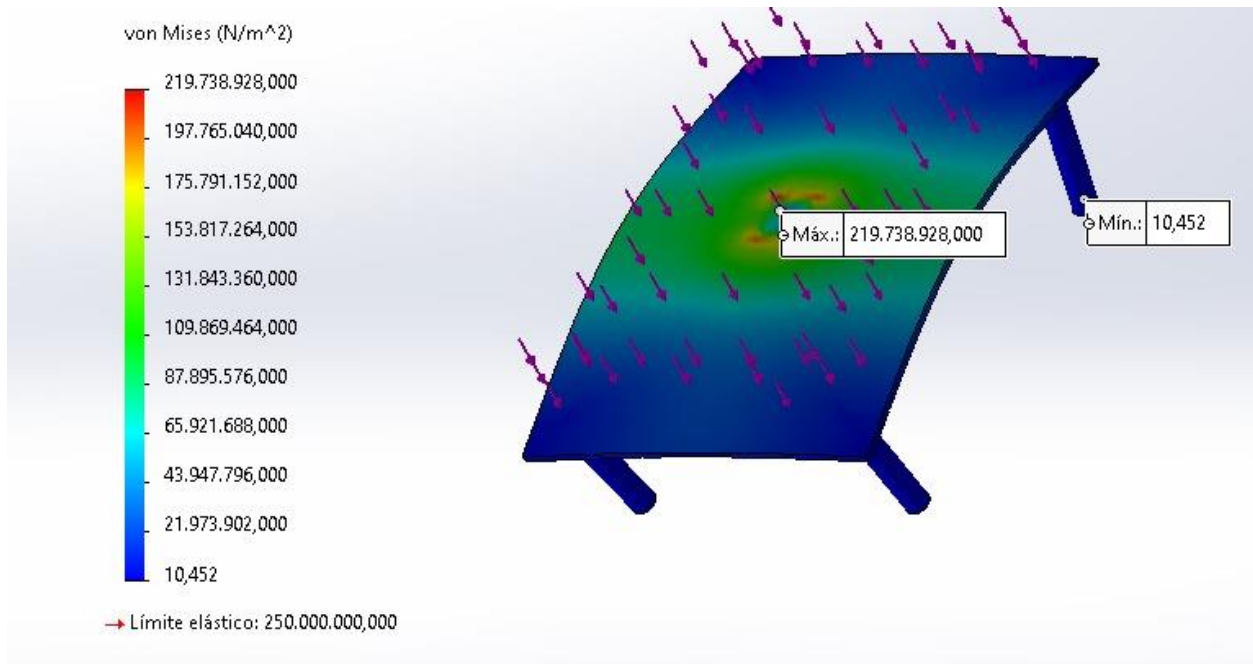


Figura 46: Análisis estático – Base.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Se puede observar que las piezas son capaces de soportar la carga de 5886 N.

4.4.6 Selección del Reductor

Para la selección del reductor se tienen los siguientes datos:

- Potencia de entrada: 3,09 CV
- Velocidad de entrada: 1100 RPM
- Velocidad de salida 600 RPM
- Relación de transmisión: 1,83
- Horas de servicio: 8 horas diarias
- 25 arranques por hora
- Carga variable

Con estos datos podemos entrar el catalogo Fama de reductores de velocidad, primero se obtiene el coeficiente de servicio en la página 59 del catálogo.

COEFICIENTES DE SERVICIO

Horas Trabajo	Carga uniforme	Carga variable	Carga con choque	Arranques hora	Coef.
3 - 4	0.8 - 1.0	1.0 - 1.2	1.5 - 1.8	5	1.0
8 - 10	1.0 - 1.2	1.2 - 1.4	1.8 - 2.1	25	1.2
24	1.2 - 1.4	1.5 - 1.8	2.0 - 2.4	100	1.4
				500	1.6
				1000	1.8

Debe tomarse el coeficiente mas elevado de entre las dos tablas.

CARACTERISTICAS DE POTENCIA MAXIMA (Factor Servicio=1)

Figura 47: Coeficientes de servicio de reductores de velocidad.
Fuente: Catálogo FAMA INDUSTRIAS. (pág. 58).

De esta tabla se escoge el coeficiente de mayor según sean las condiciones, para el caso de estudio se escogió $F_s = 1,4$.

Para la selección del reductor es necesario tener obtener la potencia corregida del motor, la cual se obtendrá con la siguiente ecuación:

$$POT_C = POT * F_S$$

$$POT_C = 3,09 * 1,4 = 4.2 HP$$

$$POT_C = 4,326 HP * 0,736 \frac{kw}{1 CV} = 3,18 KW$$

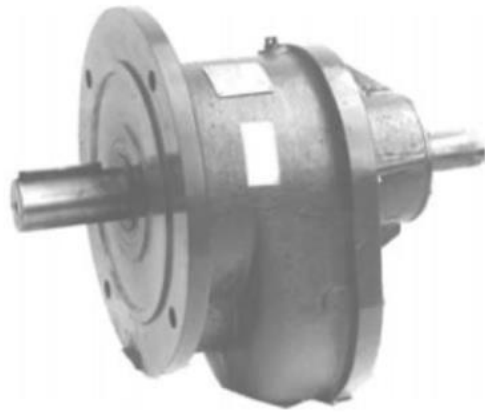
Con la potencia corregida y la relación de trasmisión podemos obtener el modelo del reductor de velocidad.

Relación i = 1:	r.p.m. salida.	Tamaño 120			Tamaño 130			Tamaño 140			Tamaño 145			Tamaño 150		
		Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm
1.73	1011	2.2	3.0	20	3.7	5.0	34	8.3	11.3	76	9.0	12	82	14.9	20	136
2.29	879	2.2	3.0	23	3.7	5.0	39	8.3	11.3	87	9.0	12	95	14.9	20	157
3.96	581	1.8	2.4	29	3.0	4.0	48	6.6	7.5	105	7.5	10	119	14.9	20	237
3.62	483	1.8	2.4	35	3.0	4.0	58	6.6	7.5	126	7.5	10	143	14.9	20	285
4.54	442	1.8	2.4	38	2.2	3.0	46	3.73	5.0	78	6.6	9.0	138	14.9	20	312
5.22	335	1.3	1.8	36	1.8	2.4	50	3.73	5.0	103	6.6	9.0	182	9.0	12	248
5.99	292	1.3	1.8	41	1.8	2.4	57	3.0	4.0	95	5.6	7.5	177	7.5	10	237
6.88	254	0.9	1.2	33	1.8	2.4	66	3.0	4.0	109	4.92	6.6	179	6.6	9.0	240
7.88	222	0.4	0.6	17	1.5	2.0	63	2.2	3.0	91	3.73	5.0	155	5.6	7.5	233

Los indices Kw₁ y Cv₁ se refieren a las aplicaciones en la entrada del reductor y las Nm son los resultados a la salida del reductor.

Figura 48: Selección de modelo del reductor de velocidad con ejes a 180°.
Fuente: Catálogo FAMA INDUSTRIAS. (pág. 58).

Como resultado se obtiene un reductor Modelo PV 140.



**Modelo PV
REDUCTOR
CON BRIDA**

Figura 49: Modelo del reductor PV con brida.
Fuente: Catálogo FAMA INDUSTRIAS. (pág. 55).

4.4.7 Diseño de Correas y Poleas

Se cuenta con un reductor el cual reduce la velocidad a 35 RPM, para poder subir dichas velocidades debemos realizar un cálculo de correas y poleas, en el cual, como se dispone de un motor eléctrico trifásico de 3 HP a 1715 RPM, el cual está conectado a un motorreductor que reduce su velocidad a 35 RPM y una polea de salida de 203 mm, se desea subir dichas velocidades y se cuenta con una polea de 76 mm, debemos evaluar a cuánta velocidad nos sube con dicha polea.

Primero, calculamos la potencia transmitida,

$$P_c = P * K$$

Donde:

- P_c : Potencia corregida
- P : Potencia transmitida por el motor conductor = 3 HP
- K : Factor de corrección de la potencia (ver figura 53)

Máquinas motrices	Motores eléctricos cd = 2 cn Motores térmicos multicilindros > 600 rpm			Motores eléctricos c maxi > 2 cn Monocilindro < 600 rpm		
	< 6 h/d	6 a 16 h/d	16 a 24 h/d	< 6 h/d	6 a 16 h/d	16 a 24 h/d
<i>Cargas uniformes ligeras:</i> Agitadores para líquidos, bombas y compresores centrifugos-ventiladores hasta 7,5 Kw Pequeños transportadores	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<i>Cargas uniformes medias:</i> Transportadores de cinta (arena, grano) Ventiladores superiores 7,5 Kw Generadores-alternadores, máquinas herramientas Maquinaria artes gráficas, prensas, cizallas, lavadoras, bombas rotativas.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<i>Cargas irregulares con sobrecargas:</i> Maquinaria para ladrillos y cerámica Elevadores con canchilones. Compresores y bombas de pistones. Maquinaria papel. Pulverizadores. Maquinaria textil.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<i>Cargas irregulares y sobrecargas importantes:</i> Molinos, machacadoras, laminadoras, calandras mezcladoras. Gruas, dragas.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
Cargas muy irregulares y grandes sobrecargas.	2	2	2	2	2	2

Figura 50: Factor de servicio, K.

Fuente: ingemecánica, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Una vez obtenido el factor de corrección, sustituimos,

$$P_c = 3 \text{ HP} * 1,2$$

$$P_c = 3,6 \text{ HP}$$

Procedemos luego a la selección del tipo de correa con la figura 54. Pero primero debemos hallar las RPM de la polea menor y luego hallarla relación de transmisión, dada por la siguiente fórmula:

$$R = \frac{N}{n} = \frac{D}{d}$$

Donde

- *R: Relación de transmisión*
- *N: Revoluciones por minuto (RPM) de la polea conductora = 35 RPM*
- *n: Revoluciones por minuto (RPM) de la polea conducida*
- *D: Diámetro de la polea conducida = 76 mm*
- *d: diámetro de la polea conductora = 203 mm*

Entonces,

$$n = \frac{N * d}{D}$$

$$n = \frac{35 \text{ RPM} * 203 \text{ mm}}{76 \text{ mm}}$$

$$n = 93,5 \text{ RPM}$$

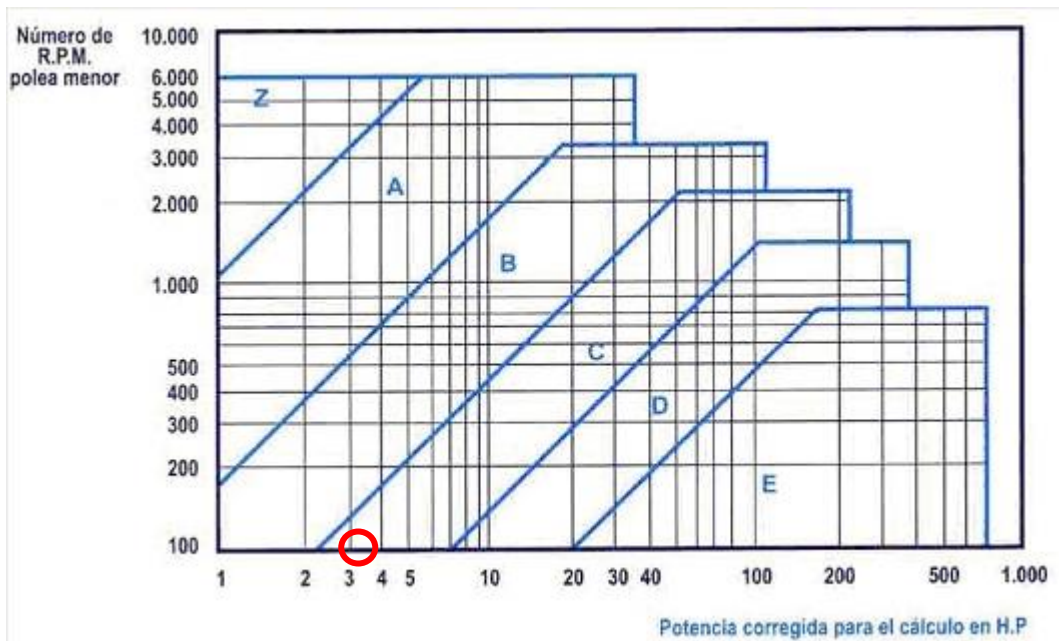


Figura 51: Selección de la sección de correa.

Fuente: ingemecánica, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Tenemos que para unas 93,5 RPM y 4,2 HP la correa debe ser de perfil C.

Para la relación de transmisión tenemos que:

$$R = \frac{76}{203}$$

$$R = 0,37$$

Luego calculamos la distancia apropiada de las poleas con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(R + 1) * d}{2} + d$$

Donde

- *E*: Distancia entre las poleas

Sustituimos.

$$E = \frac{(0,37 + 1)203 \text{ mm}}{2} + 203 \text{ mm}$$

$$E = 342,055 \text{ mm}$$

Estableciendo así que,

$$E \geq 342,055 \text{ mm}$$

Tomaremos como referencia $E = 400 \text{ mm}$.

Ahora, hallamos la longitud que debería de tener la correa,

$$L_p = 2E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E}$$

Donde

- $L_p = \text{Longitud primitiva de la correa}$

Sustituimos,

$$L_p = 2(400 \text{ mm}) + \frac{\pi}{2}(76 \text{ mm} + 203 \text{ mm}) + \frac{(76 \text{ mm} - 203 \text{ mm})^2}{4(400 \text{ mm})}$$

$$L_p = 800 \text{ mm} + 438,25 \text{ mm} + 10,08 \text{ mm}$$

$$L_p = 1248,33 \text{ mm}$$

La expresión anterior calcula el valor exacto para la longitud de la correa. No obstante, las casas comerciales fabrican una serie normalizada de longitudes primitivas nominales para cada sección de correa, que seguramente no coincidirán con la longitud calculada mediante la expresión anterior. Por ello, de esta lista habrá que elegir, para el tipo de correa que se trate, la longitud más próxima al valor calculado. Con la figura 55, de longitudes nominales, seleccionamos la más próxima al valor calculado para el tipo de perfil "C".

Longitud primitiva nominal						
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
50	1295	1306	1318	1344	-	-
51	1320	1330	1328	1357	-	-
52	1346	1354	1367	1394	-	-
53	1371	1381	1392	1429	-	-
54	1397	1405	1410	1442	-	-
55	1422	1429	1443	1460	-	-
56	1447	1459	1460	1497	-	-
57	1473	1492	1491	1527	-	-
58	1498	1507	1512	1550	-	-
59	1524	1532	1541	1576	-	-
60	1549	1556	1556	1598	-	-
61	-	1584	1601	1623	-	-
62	-	1605	1626	1648	-	-
63	-	1633	1641	1674	-	-
64	-	1658	1674	1699	-	-
65	-	1683	1695	1725	-	-
66	-	1714	1724	1745	-	-
67	-	1742	1743	1775	-	-
68	-	1767	1770	1788	-	-
69	-	1785	1794	1826	-	-
70	-	1813	1818	1847	-	-
71	-	1841	1846	1877	-	-

Figura 52: Longitudes nominales.

Fuente: ingemecánica, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Se selecciona una correa de perfil "C" con desarrollo nominal 1267 mm (Nº 47).

Posteriormente, hay que determinar el factor de corrección del largo de la correa (F_{cl}) (ver figura 56).

Sección de la correa						
Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-

Figura 53: Factor de corrección por longitud (F_{cl}).

Fuente: ingemecánica, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Aproximando los valores, tenemos que:

$$F_{cl} = 0,8$$

Procedemos con el cálculo del arco de contacto.

$$A = 180 - \frac{57(D - d)}{E}$$

Donde,

- A : Ángulo de contacto sobre la polea menor, en °

Sustituimos,

$$A = 180 - \frac{57(76 \text{ mm} - 203 \text{ mm})}{400 \text{ mm}}$$

$$A = 180,32^\circ \approx 180^\circ$$

A partir de la figura 57, obtenemos el factor de corrección del arco de contacto (F_cA).

Factor de corrección		
Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82

Figura 54: Factor de corrección del arco de contacto (F_cA).

Fuente: ingemecánica, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Entonces, tenemos que:

$$F_cA = 1$$

Calculamos la velocidad de la correa,

$$V_t = \frac{\pi * d * N}{60 * 1000}$$

Donde,

- $V_t =$ Velocidad de la correa

Sustituimos,

$$V_t = \frac{\pi * 203 \text{ mm} * 93,5 \text{ RPM}}{60 * 1000}$$

$$V_t = 0,99 \text{ m/s}$$

La prestación base o potencia base (P_b) se calculará con la siguiente fórmula:

$P_b =$ Prestación base + Prestación adicional por relación de transmisión

Sección C																							
Nº R.P.M. De la polea menor	Prestación Base (en HP)													Prestación adicional por relación de transmisión (en HP)									
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)													1.00	1.02	1.05	1.09	1.13	1.19	1.25	1.35	1.52	2.00
	178	190	203	216	229	241	254	267	279	292	305	317	330	al 1.01	al 1.04	al 1.08	al 1.12	al 1.18	al 1.24	al 1.34	al 1.51	al 1.99	score
870	4.43	5.26	6.09	6.90	7.70	8.49	9.26	10.00	10.80	11.50	12.30	13.00	13.70	0.00	0.12	0.24	0.36	0.47	0.59	0.71	0.83	0.95	1.07
1160	5.28	6.32	7.34	8.34	9.31	10.30	11.20	12.10	13.00	13.90	14.70	15.50	16.30	0.00	0.16	0.32	0.47	0.63	0.79	0.95	1.11	1.26	1.42
1750	6.23	7.56	8.84	10.10	11.20	12.30	13.30	14.30	15.20	16.00	16.80	17.40	18.00	0.00	0.24	0.48	0.72	0.95	1.19	1.43	1.67	1.91	2.15
100	0.86	0.98	1.10	1.22	1.34	1.46	1.58	1.70	1.82	1.93	2.05	2.16	2.28	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12
200	1.49	1.72	1.95	2.17	2.40	2.62	2.84	3.06	3.28	3.50	3.72	3.93	4.15	0.00	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.25
300	2.05	2.37	2.70	3.03	3.35	3.67	3.99	4.31	4.62	4.94	5.25	5.56	5.87	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.25	0.29	0.33	0.37
400	2.55	2.97	3.39	3.81	4.23	4.65	5.06	5.47	5.87	6.28	6.68	7.08	7.47	0.00	0.05	0.11	0.16	0.22	0.27	0.33	0.38	0.44	0.49
500	3.01	3.53	4.04	4.55	5.06	5.56	6.06	6.55	7.05	7.53	8.02	8.50	8.98	0.00	0.07	0.14	0.20	0.27	0.34	0.41	0.48	0.55	0.61
600	3.43	4.04	4.64	5.24	5.83	6.42	7.00	7.58	8.15	8.72	9.28	9.83	10.40	0.00	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.49	0.57	0.65	0.74
700	3.83	4.52	5.21	5.89	6.56	7.23	7.89	8.54	9.19	9.82	10.50	11.10	11.70	0.00	0.10	0.19	0.29	0.38	0.48	0.57	0.67	0.76	0.86
800	4.19	4.97	5.74	6.50	7.25	7.99	8.72	9.44	10.20	10.90	11.50	12.20	12.90	0.00	0.11	0.22	0.33	0.44	0.55	0.65	0.76	0.87	0.98
900	4.53	5.39	6.23	7.06	7.88	8.69	9.49	10.30	11.00	11.80	12.60	23.30	14.00	0.00	0.12	0.25	0.57	0.49	0.61	0.74	0.86	0.98	1.10
1000	4.84	5.77	6.69	7.59	8.47	9.34	10.20	11.00	11.90	12.70	13.50	14.20	15.00	0.00	0.14	0.27	0.41	0.55	0.68	0.82	0.95	1.09	1.23
1100	5.12	6.12	7.10	8.07	8.01	9.94	10.90	11.70	12.60	13.50	14.30	15.10	15.90	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35
1200	5.37	6.44	7.48	8.51	9.51	10.50	11.40	12.40	13.30	14.10	15.00	15.80	16.60	0.00	0.16	0.33	0.49	0.65	0.82	0.98	1.14	1.31	1.47
1300	5.60	6.73	7.83	8.90	9.94	11.00	12.00	12.90	13.80	14.70	15.60	16.40	17.20	0.00	0.18	0.35	0.53	0.71	0.89	1.06	1.24	1.42	1.59
1400	5.79	6.98	8.13	9.24	10.30	11.40	12.40	13.40	14.30	15.20	16.10	16.90	17.70	0.00	0.19	0.38	0.57	0.76	0.95	1.14	1.34	1.53	1.72
1500	5.96	7.19	8.39	9.54	10.70	11.70	12.80	13.80	14.70	15.60	16.40	17.20	18.00	0.00	0.20	0.41	0.61	0.82	1.02	1.23	1.43	1.64	1.84

Figura 55: Prestaciones base de las correas trapezoidales (P_b).

Fuente: ingemecánica, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

Aproximando los valores tenemos que:

$$P_b = 1,10 + 0$$

$$P_b = 1,1$$

Pasamos ahora con el cálculo de la potencia efectiva por correa (P_e), con la siguiente fórmula:

$$P_e = P_b + F_{cl} + F_c A$$

$$P_e = 1,1 + 0,8 + 1$$

$$P_e = 2,9$$

Por último, obtenemos el número de correas con la siguiente fórmula:

$$N^\circ \text{ de correas} = \frac{P_c}{P_e}$$

$$N^\circ \text{ de correas} = \frac{3,6}{2,9}$$

$$N^\circ \text{ de correas} = 1,24$$

Siendo necesarias entre 1 y 2 correas.

La transmisión resultante será la siguiente:

- Tipo de correa: C47
- N° de correas: 1 o 2
- Distancia entre centros de poleas: $\geq 342,055$
- Revoluciones por minuto de la polea conducida: 93,5 RPM

4.4.8 Análisis de Fuerza de Resorte

Se colocan cuatro resortes, uno en cada pasador del banco superior, con la finalidad de que ofrezcan una mayor estabilidad y dirección del banco de pruebas, sin embargo, para corroborar de que dicho resorte logre aguantar la fuerza a la cual nos basamos para la elaboración del banco. En este caso, la fuerza es de 600 kg, que es igual a 5886 N, distribuida en cuatro partes, que son las esquinas donde van colocados los pasadores con los resortes, tenemos que la fuerza que debe de soportar dicho de resorte debe ser de 1417,5 N. A través de la herramienta computacional SolidWorks, realizamos un análisis estático de fuerza, con la establecida anteriormente. Las características de dicho resorte son:

- 3 mm de diámetro del alambre
- 70 mm de altura del alambre sin compresión aplicada
- Un total de 7 espiras
- El material del resorte es acero al carbono no aleado

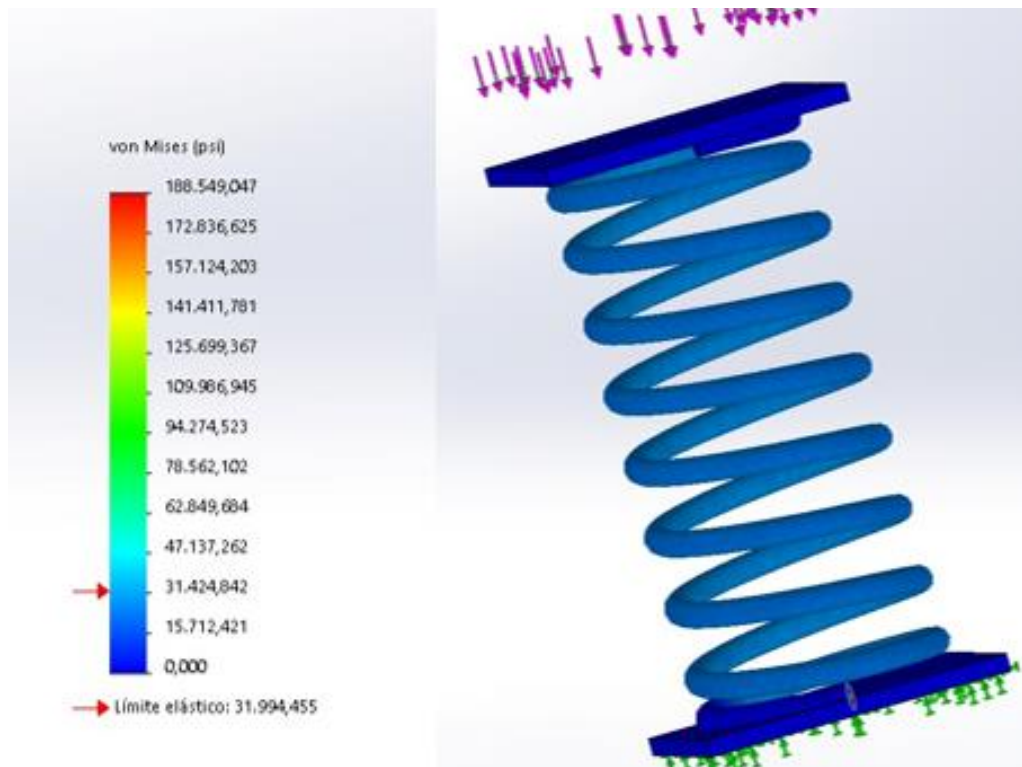


Figura 56: Análisis de fuerza a resorte (SolidWorks).

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

En la imagen se puede apreciar el límite elástico del resorte es de 31.994,455 psi. Se observa, por la relación de los colores de la gráfica a la derecha y los colores que aparecen en

el resorte, que el resorte llega a sufrir unas tensiones, sin embargo, aún en el rango por debajo del límite elástico, demostrando así que logra soportar el peso establecido.

4.5 Análisis de Viabilidad, Económico, Ambiental y Técnico del Proyecto

4.5.1 Viabilidad Económica

Para la realización del diseño y construcción del banco de pruebas de suspensión, se necesitan los siguientes recursos:

Recursos:

- Motor eléctrico trifásico de 3 HP, 4 polos y 1715 RPM



Figura 57: Motor eléctrico trifásico de 3 HP, 1715 RPM, 4 Polos.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Este motor nos ayuda para lograr mover cargas de 600 kg (5886 N), que son las cargas que requerimos levantar. Este motor tiene un precio de \$180.

- Eje de acero AISI 1045 con un diámetro de 1 3/4" y un largo de 500 mm



Figura 58: Eje de acero 1045.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Por los cálculos obtenidos y lo que requerimos evaluar, adquirimos un eje con dichas indicaciones. Se escogió un acero AISI 1045, debido a que es un acero versátil y de bajo costo, que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo ejes de transmisiones, gracias a su resistencia a la tracción, desgaste y ductilidad. Este eje tiene un costo de \$5,54 por kg; con las dimensiones especificadas que requerimos, obtuvimos un total de 6,20 kg, dándonos un total de \$34,47.

- Eje de acero AISI 1045 con un diámetro de 63,5 mm y un largo de 50 mm



Figura 59: Rueda excéntrica de Acero 1045.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Este eje se requiere para la fabricación de la rueda excéntrica, al igual que el eje anterior, se escogió un acero AISI 1045 por las mismas especificaciones. El costo de este eje, al igual que el anterior es de \$5,54 por kg, con este eje obtuvimos un total de 1,5 kg, dándonos un total de \$8,34.

- Chumaceras de puente 1 3/4" marca ESK:



Figura 60: Chumacera de puente 1 3/4", P209, ESK.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Con los cálculos obtenidos se requiere 2 chumaceras tipo puente 1 3/4", P209, ESK, las cuales se utilizan para soportar el eje y ayudarlo a realizar el movimiento giratorio. Cada una de estas chumaceras tiene un valor de \$35, se adquirieron dos de ellas, dándonos un total de \$70 por ambas.

- Planchas de acero negro estriadas y lisas

Se escogieron unas planchas de hierro negro estriadas, para la rampa y la base superior del banco para darle mayor agarre a los neumáticos, y lisas para el resto de las piezas necesarias, con un espesor de 6 mm, lo cual es suficiente para soportar las cargas que hemos establecido anteriormente. Se adquirió una lámina de 120 x 240 cm, debido a que es de las dimensiones que se consiguen en el mercado, la cual tuvo un valor de \$170.

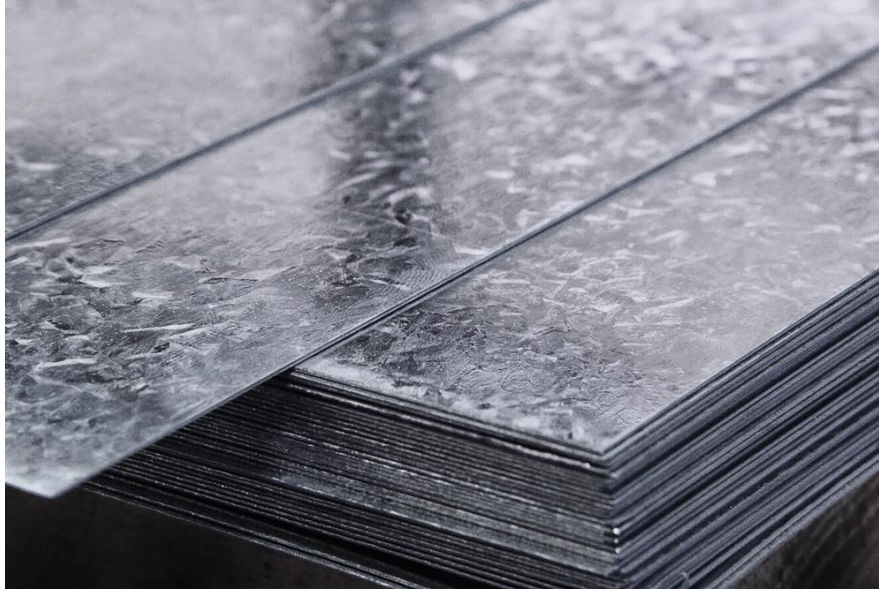


Figura 61: Planchas de acero negro lisas.
Fuente: MAPLOCA.



Figura 62: Plancha de acero negro estriada.
Fuente: Hierros San Félix.

- Tornillos

Para la construcción del banco, hay partes donde debemos ensamblar con tornillos, en este caso, se usarán tornillos G8, los cuales tienen las siguientes características:

- Están hechos de acero de alta resistencia, lo que lo hace capaz de soportar cargas pesadas y tensiones extremas.
- Debido a su construcción robusta, los tornillos G8 tienen una vida útil prolongada y pueden soportar el desgaste y la fatiga durante períodos prolongados.

- Debido a su construcción robusta y su capacidad para soportar cargas pesadas, los tornillos G8 proporcionan una conexión segura y estable.



Figura 63: Tornillo G8.
Fuente: TECNOFIJACIONES.

- Camisa de leva

Para adjuntar la leva con el banco superior, se diseñó un tipo de camisa la cual se encargará de poder empalmar dichas piezas, y así, poder lograr el movimiento de subida y bajada del banco. Esta camisa para lograr empalmarse al banco, se fijará a partir de un pasador que va por la zona alta.



Figura 64: Camisa de Rodamiento con Leva.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- Rodamiento

Se adquirió un rodamiento NSK, 65 mm de diámetro interno, para poder acoplarlo a la leva y ayude a dar un recorrido suave y sin generar fricción. El costo de este rodamiento es de \$50.



Figura 65: Rodamiento.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

- Motorreductor

Se requiere de un motorreductor, para poder rebajar las revoluciones por minuto que salen del motor, para así obtener un análisis más eficaz.



Figura 66: Motorreductor requerido (modelo PV con brida).

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Cuadro 7. Análisis de Costo.

Análisis de Costo				
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad Requerida	Costo Unitario (\$)	Total
Motor eléctrico trifásico de 3 HP, 1715 RPM, 4 Polos.	Unidad	1	\$290	\$290
Eje de acero 1045. (1 ¾"x505 mm).	Kg	6,20	\$5,56	\$34,47
Rueda excéntrica de Acero 1045. (2 ½"x55 mm).	Kg	1,5	\$5,56	\$8,34
Chumacera de puente 1 ¾", P209, ESK.	Unidad	2	\$35	\$70
Láminas de hierro negro lisas y estriadas (6 mm de espesor).	cm	120 x 240	\$170	\$170
Tronillos grado 8, ¾".	Unidad	12	\$5	\$60
Rodamiento NSK, 65 mm de diámetro interno.	Unidad	1	\$50	\$50
Reductor Modelo PV 140	Unidad	1	\$300	\$300
TOTAL				\$982,81

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

4.5.2 Viabilidad Ambiental

El banco de pruebas de suspensión accionado por un motor eléctrico presenta varios aspectos ambientales a considerar:

1. **Materiales utilizados:** Las planchas de acero empleadas en la construcción del banco de pruebas pueden generar impactos ambientales significativos durante su producción, especialmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de

recursos naturales. Sería importante considerar el origen y la producción de estas planchas, así como la posibilidad de utilizar materiales más sostenibles en su lugar.

2. Gestión de lubricantes: El uso de grasa y aceite como lubricación puede generar residuos y riesgos de contaminación si no se gestionan adecuadamente. Implementar prácticas de gestión de lubricantes usados, como la recogida y reciclaje, puede reducir el impacto ambiental y los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
3. Control de ruido: El ruido generado durante las pruebas puede afectar negativamente al entorno y a las personas cercanas. Implementar medidas de control de ruido, como barreras acústicas o horarios de funcionamiento restringidos, puede mitigar este impacto.

4.5.3 Viabilidad Técnica

La viabilidad técnica de un proyecto se refiere a la capacidad de llevar a cabo el proyecto utilizando tecnologías y recursos disponibles actualmente. En otras palabras, se trata de evaluar si el proyecto es técnicamente posible y si se pueden implementar los requisitos técnicos necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto. Este banco de pruebas de suspensión, logra cumplir con los objetivos planteados, ya que logra la excitación de la suspensión del vehículo para poder ser evaluado, usando tanto materiales reciclados, prestados y comprados, todo dentro de un diseño de fácil construcción y constituido por materiales fáciles de adquirir, así como algunos otros no tanto, para lograr el propósito previsto, así como la disponibilidad de mano de obra calificada para su fabricación.

Cuadro 8. Aspectos técnicos necesarios para llevar a cabo la propuesta planteada.

Propuesta	Aspecto Técnico Requerido	¿Se tiene?	
		SÍ	NO
Banco de Pruebas de Suspensión para Vehículos	¿Se cuenta con el espacio, herramientas y equipos requeridos para la construcción del banco?	X	
	¿Los componentes eléctricos para la construcción del banco se consiguen con facilidad?	X	

Automotores Ligeros	¿Los componentes mecánicos para la construcción del banco se encuentran con facilidad?		X
	¿Se cuenta con conocimientos técnicos para el diseño del banco?	X	
	¿Se cuenta con equipos como programas de diseño, softwares, entre otros, que ayuden al diseño del banco?	X	
	¿Se cuenta con el conocimiento para el uso de los equipos y herramientas necesarios para la construcción?	X	

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Como se puede observar en el cuadro N°12, se cuenta con gran cantidad de aspectos técnicos requeridos para poder llevar a cabo la realización del proyecto, a pesar de que existan recursos que no sean de fácil ubicación y accesibilidad, aún entre en el rango de una construcción factible con una facilidad de construcción y uso.

4.6 Construcción del Banco de Prueba para Suspensión de Vehículos Automotores Ligeros

Para la construcción del banco de pruebas, nos apoyamos en los siguientes talleres y equipos:



Figura 67: Torno Metal San Francisco SRL, Maracay, Aragua.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 68: Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.
Fuente: Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.



Figura 69: Interior de Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 70: Rollers Conveyors S.A.
Fuente: Rollers Conveyors S.A.

Primeramente, se procedió a realizar una perforación en la rueda excéntrica. Dicho trabajo se realizó en Torno Metal San Francisco, SRL.



Figura 71: Puntos de 5 mm de distancia para la perforación de la rueda excéntrica.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

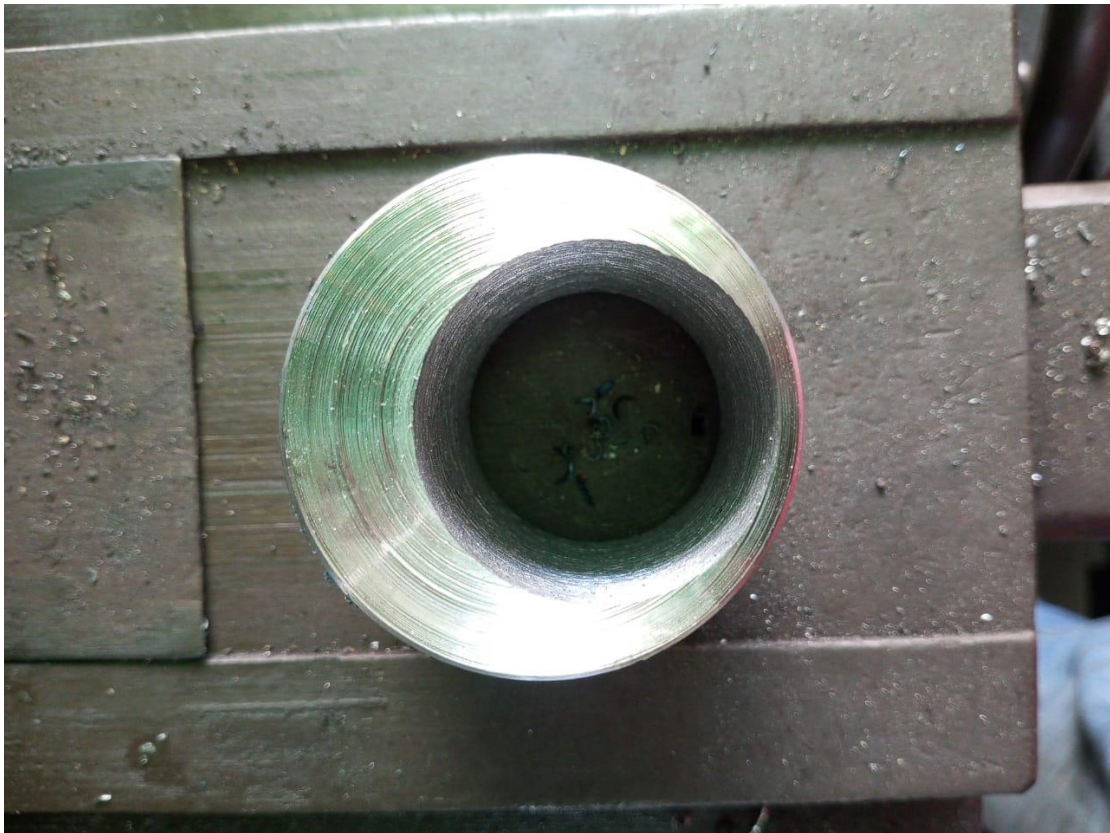


Figura 72: Perforación de la rueda excéntrica.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Posteriormente, se cortaron las bases con guillotina ya que los cortes son rectos. Dicho trabajo fue realizado en Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.



Figura 73: Guillotina de Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 74: Cortado de láminas con guillotina.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Luego, se procedió al corte de las bases con plasma CNC.



Figura 75: Plasma CNC, Manufactura y Talleres Lloverá, C.A.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 76: Corte de láminas con plasma CNC.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Seguidamente se soldaron las láminas en conjunto para conformar el armazón del banco de pruebas.



Figura 77: Soldado del banco de pruebas.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 78: Armado del banco.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 79: Base interna del banco de pruebas.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Se hicieron los procedimientos respectivos para realizar la base interna del banco.

Una vez listo el armazón del banco de pruebas, se hizo el ensamble de las chumaceras, eje con rueda excéntrica, el rodamiento y la camisa del rodamiento.



Figura 80: Ensamble de las chumaceras, eje con rueda excéntrica, el rodamiento y la camisa del rodamiento.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Luego, se soldaron las barras calibradas en los extremos de la parte inferior del banco superior, para que hagan la función unas guías que ayuden al movimiento vertical del banco.

Además, se soldaron pequeñas planchas de hierro, con orificios, para que así pueda colocarse un pasador entre la camisa del rodamiento y las planchas mencionadas, y con ello quedar sujetadas para permitir el movimiento del banco de manera vertical.



Figura 81: Parte inferior del banco superior.

Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Para que estas guías puedan deslizarse con mayor facilidad, se implementaron unas bocinas de bronce.



Figura 82: Bocinas y sujetadores.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 83: Banco de pruebas en proceso de ensamblaje.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

Posteriormente, se procede a la instalación de las poleas, correa, motor y reductor. Dicho proceso se llevó a cabo en el taller Rollers Conveyors S, A.



Figura 84: Instalación de las poleas, correa, motor y reductor.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 85: Banco de pruebas ensamblado.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).



Figura 86: Construcción del Banco de Pruebas finalizado.
Fuente: Giacobbe, F y Miranda, J (2024).

CONCLUSIÓN

El presente proyecto buscó dar solución al problema del deterioro progresivo de los sistemas de suspensión en vehículos livianos, mediante el diseño y construcción de un banco de pruebas. Este banco permitió realizar ensayos y análisis exhaustivos de la suspensión, facilitando la detección de fallos y el diagnóstico preciso de su estado. Se llevó a cabo un estudio integral que incluyó teorías fundamentales y normativas esenciales en el diseño y construcción de bancos de pruebas de suspensión. Desde aspectos geométricos hasta consideraciones sobre materiales y comportamiento mecánico, el proyecto garantizó la conformidad con normativas aplicables.

La incorporación de simulaciones con software como SOLIDWORKS permitió validar y optimizar el diseño del banco de pruebas, asegurando su eficacia y eficiencia en el análisis de la suspensión de vehículos livianos. El tipo de investigación fue factible, ya que se buscó diseñar y construir un banco de pruebas que permitió la inspección de la suspensión de vehículos automotores ligeros para corroborar el funcionamiento de dichos sistemas. Además, esta investigación tuvo un diseño de investigación experimental, ya que el propósito fue someter un vehículo ligero a una determinada prueba, que en este caso fue la prueba de suspensión.

- Fase I: Se realizó una exploración exhaustiva del sistema de suspensión para detectar cualquier indicio o señal de problemas que puedan afectar su rendimiento. Se desarrolló un protocolo para la inspección visual del sistema de suspensión, que incluyó la identificación de señales de desgaste, daños o fugas en los componentes. Se identificaron los principales indicadores de problemas en la suspensión, como ruidos anormales, vibraciones excesivas, inestabilidad del vehículo y cambios en la altura de la carrocería.
- Fase II: Se definieron las variables que influyen en la inspección visual de la suspensión, como el ángulo de visión, la experiencia del inspector y las condiciones ambientales. Se determinó que la inspección visual es una herramienta útil para la detección de problemas en la suspensión, pero que requiere de un proceso estandarizado y personal capacitado para obtener resultados confiables.
- Fase III: Se analizaron las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de bancos de pruebas de suspensión, como los bancos de pruebas de rodillos, los bancos de pruebas de vibración y los bancos de pruebas de fatiga. Se seleccionó el tipo de banco de pruebas

más adecuado para el proyecto, considerando las necesidades de diagnóstico, el presupuesto disponible y las limitaciones de espacio. Se determinó que el banco de pruebas seleccionado permitiría realizar pruebas precisas y confiables para evaluar el estado de la suspensión de vehículos livianos.

- Fase IV: Se diseñaron los elementos del banco de pruebas, como la estructura, el sistema de accionamiento, el sistema de control. Se seleccionaron los materiales y componentes más adecuados para cada elemento del banco de pruebas, considerando la resistencia, la precisión y la durabilidad. Se elaboraron planos y diagramas detallados del banco de pruebas, que incluyen las dimensiones, especificaciones técnicas y requisitos de ensamblaje.
- Fase V: Se realizó un análisis de costos-beneficios que determinó que el proyecto era viable desde el punto de vista económico. Se evaluó el impacto ambiental del proyecto y se determinaron medidas para minimizarlo. Se analizaron los riesgos técnicos del proyecto y se definieron estrategias para mitigarlos. Se concluyó que el proyecto era viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.
- Fase VI: Se construyó el banco de pruebas de acuerdo con los planos y especificaciones técnicas. Se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar el correcto desempeño del banco de pruebas. Se capacitó al personal en el uso y mantenimiento del banco de pruebas.

RECOMENDACIONES

1. Sistema de control automatizado:
 - Implementar un sistema de control automatizado para realizar las pruebas de forma más eficiente y precisa.
 - El sistema puede controlar los diferentes parámetros de las pruebas, como la velocidad, la carga y la frecuencia.
 - Permite la recopilación y análisis automático de datos.
2. Sensores de alta precisión:
 - Instalar sensores de alta precisión para medir las diferentes variables durante las pruebas.
 - Los datos recolectados pueden ser utilizados para realizar un diagnóstico más preciso del estado de la suspensión.
 - Permite la identificación de problemas incipientes que podrían pasar desapercibidos con métodos tradicionales.
3. Software de análisis de datos:
 - Desarrollar o adquirir un software de análisis de datos para interpretar los resultados de las pruebas.
 - El software puede generar informes detallados que faciliten la toma de decisiones.
 - Permite la identificación de patrones y tendencias que pueden ser útiles para mejorar el diseño de la suspensión.
4. Otros:
 - Se recomienda ubicar este equipo en una fosa para una mayor comodidad de su uso.
 - Instalar ruedas plegables para mover el equipo a gusto y evaluar cualquiera de los neumáticos sin mover el vehículo.
 - Utilizar un variador de frecuencia para poder ajustar las revoluciones por minuto del motor, y así, realizar pruebas con diferentes velocidades de movimiento.

REFERENCIAS

- Acosta, E. (2022). METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SUSPENSIÓN EN VEHÍCULOS AUTOMÓVILES. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Málaga, España.
- Aduco, M. E., & Magri, F. D. (2018). Banco de Pruebas para Amortiguadores. Proyecto Final de Carrera. Universidad Tecnológica Nacional. Uruguay, Entre Ríos, Argentina.
- Alamo-Viera, M. (2019). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO DE AMORTIGUADORES. Tesis. Universidad de Piura. Piura, Perú.
- American National Standards Institute. (2017). ANSI Z535 Series: Series of Standards for Safety Signs and Tags. Rosslyn, Virginia 22209.
- American National Standards Institute. (2019). ANSI B11 Series: Machine Safety Standards. Houston, TX 77269.
- American Society for Testing and Materials. (2014). ASTM E290 - 14a: Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility. West Conshohocken, PA 19428-2959.
- American Society for Testing and Materials. (2019). ASTM A36/A36M - 19: Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken, PA 19428-2959.
- American Welding Society. (2020). AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural Welding Code – Steel. Miami, FL 33166.
- Arias, F. (2012). Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología (5ª ed.). Caracas: Editorial Episteme.
- Asana. (2024). Las 6 restricciones de un proyecto y cómo abordarlas para tener éxito. Recuperado del 4 de marzo del 2024, de <https://asana.com/es/resources/project-constraints>.
- AUTOTACHKI. (2022). ¿Qué es un puntal en la suspensión de un automóvil, en qué se diferencia de un amortiguador en una suspensión? Recuperado el 26 de mayo de 2022, de <https://es.avtotachki.com/chto-takoe-stoyka-v-podveske-avtomobilya-chem-otlichaetsya-ot-amortizatora-na-podveske/>
- Balestrini, M. (2000). Cómo elaborar un proyecto. Caracas.

- Behar, D. (2008). METODOLOGIA de la INVESTIGACION (1ª ed.). México D.F. Ediciones Shalom.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (8va. Ed.). México: McGraw-Hill.
- Cáceres, K. (2021). BANCO DE PRUEBAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE AMORTIGUADORES NEUMÁTICOS Y DE FRICCIÓN SECA. Proyecto de Grado. Universidad Autónoma de Bucaraminga. Bucaraminga, Santander..
- Carabias, E. (2022). Metodología experimental para la identificación de los parámetros de suspensión en vehículos automóviles. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Málaga, España.
- Checklistfácilblog. (2022). Sistema de inspección para el control de calidad: qué es y cómo hacerlo. Recuperado el 24 de junio de 2022, de <https://blog-es.checklistfacil.com/inspeccion/#:~:text=La%20inspección%20es%20un%20tipo,implementación%20y%20estandarización%20de%20procesos>.
- CIA. GENERAL DE ACEROS C.A. SAE 1020 Y SAE 1045 Aeros ingeniería al carbono. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf>.
- Cook, T.D., y Reichardt, Ch. S. (2005). Métodos cualitativos y cuantitativos en Investigación Evaluativa. Madrid: EDICIONES MORATA.
- D.ABC (2009). Definición de Deterioro. Recuperado en octubre de 2009, de <https://www.definicionabc.com/ciencia/deterioro.php>
- Dodge (2020). ¿Qué tipos de suspensión existen? ¿Cuáles son sus beneficios? Recuperado el 20 de noviembre de 2020, de: [https://www.dodge.com/mx/blog/dodge-for-all/que-tipos-de-suspension-existen-cuales-son-sus-beneficios.html#:~:text=La%20suspensión%20es%20el%20sistema,o%20dependiente s\)%20y%20las%20independientes](https://www.dodge.com/mx/blog/dodge-for-all/que-tipos-de-suspension-existen-cuales-son-sus-beneficios.html#:~:text=La%20suspensión%20es%20el%20sistema,o%20dependiente s)%20y%20las%20independientes).
- Ecoasfalt. (2024). CONSECUENCIAS DEL ASFALTO EN MAL ESTADO DE CONSERVACIÓN. Recuperado del 15 de marzo del 2024, de <https://www.ecoasfalt.es/consecuencias-del-asfalto-en-mal-estado-de-conservacion/>.

- EIDE. (2023). Bancos de prueba. Recuperado de <https://eide.net/bancos-de-prueba/#:~:text=Los%20bancos%20de%20prueba%20se,y%20otros%20sistemas%20y%20componentes.>
- Enago. Cómo y porqué redactar las limitaciones de mi investigación. Recuperado de <https://www.enago.com/es/academy/limitations-of-research-study/>
- Enumed.net, Enciclopedia Virtual (1998). Enfoque cualitativo. Recuperado de https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/enfoque_cualitativo.html#:~:text=4.3.2%20Enfoque%20cualitativo,acuerdo%20con%20las%20personas%20implicadas.
- Escobedo, V., y Álvarez O. (2019). Diseño de un simulador de sistemas de suspensión activa para la validación de técnicas de control orientada a sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas. Tesis. Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú.
- FACTORES DE SEGURIDAD (COEFICIENTES DE CALCULO). Recuperado de <https://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2016/08/Tablas.pdf>.
- Helloauto (2023). Amortiguador. Recuperado de <https://helloauto.com/glosario/amortiguador#:~:text=Significado%20de%20amortiguador&text=Se%20encarga%20de%20controlar%20y,del%20veh%C3%ADculo%20y%20las%20ruedas.>
- Helloauto (2023). Resorte. Recuperado de <https://helloauto.com/glosario/resorte>
- Hernández C, Fernández C, Baptista P. (2006). Metodología de la Investigación (4ª. ed.). México: Editorial McGraw-Hill.
- Hernández, S., Fernández, R. y Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación (7ª. ed.). Editorial Ultra S.A.
- Hurtado J. (2006). Metodología de la Investigación Holística (4ta. edic.). Caracas, Venezuela: Sypal.
- Hurtado, Iván y Toro, Josefina (2001). Paradigmas y Métodos de Investigación en tiempos de cambio (4ta. edic.). Valencia, Venezuela: Episteme Consultores Asociados, C.A.
- INFORME N° 021-04-GRE-OSITRAN (2004). Recuperado el 19 de abril de 2004, de <https://www.ositran.gob.pe/anterior/wp-content/uploads/2017/12/Inf-021-04-GRE-OSITRAN1.pdf>

Ingemecánica. Sistema de Suspensión en los Vehículos. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html#:~:text=Todo%20sistema%20de%20suspensi%C3%B3n%20en,transmita%20al%20resto%20del%20veh%C3%ADculo>.

International Organization for Standardization. (2017). ISO 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva, Switzerland.

Ita, Instituto Técnico de Automoción. (2023). ¿Qué son los amortiguadores y los puntales? Recuperado de <https://institutotecnicodeautomocion.net/que-son-los-amortiguadores-y-los-puntales/>

Luna Pasquel Brayan Andrés y Vallejo Tito Jhon Alejandro. (2017). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE AMORTIGUADORES Y MUELLES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO. Trabajo de Grado. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

Mitsubishi Motors (2019). ¿Qué es el sistema de suspensión y cuáles son sus tipos? Recuperado el 29 de noviembre de 2019, de <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/como-funciona-sistema-suspension/>

Muñoz, J. (2023). Autofact, ¿Qué es la suspensión de un auto? Recuperado el 18 de enero de 2023, de <https://www.autofact.cl/blog/comprar-auto/mecanica/suspension-auto> (Figura 1).

Palella, S. (2006). Metodología de la investigación cualitativa (2da edición en español). Caracas, Venezuela: FEDUPEL.

PORTAL DSI. Diseminación Selectiva de Información. Recuperado de <https://dsi.ins.gob.pe/validez-y-confiabilidad-de-la-investigacion/#:~:text=La%20validez%20se%20define%20como,veces%2C%20indique%20el%20mismo%20resultado>.

PUCE, Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. Recuperado de <https://puceapex.puce.edu.ec/web/cev/alcance-de-la-investigacion/#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A%20El%20alcance%20de%20una,empezar%20a%20desarrollar%20la%20investigaci%C3%B3n>.

- Ramírez, T. (2006). *Cómo Hacer un Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Panapo de Venezuela, C.A.
- Refraccionarias Erso, Amortiguadores y Suspensiones (2023). Historia y evolución del sistema de suspensión automotriz. Recuperado de: <https://erso.com.mx/blog/post/historia-y-evolucion-del-sistema-de-suspension-automotriz>.
- Reguant, M. (2014). Operacionalización de conceptos/variables. Tomado el 06 de octubre de 2023 de: Diposit Digital: diposit.ub.edu.
- Reynasa. (2020). Daños frecuentes en la suspensión y sus causas. Recoperado del 10 de mayo del 2020, de <https://www.reynasa.es/danos-en-la-suspension/#:~:text=Las%20causas%20son%20diversas%3A%20desde,de%20los%20neum%C3%A1ticos%20por%20fricci%C3%B3n>.
- Rivas, M. (2010). *La investigación evaluativa una alternativa para la valoración de proyectos educativos*. Colombia.
- Tamayo y Tamayo, M. (2007). *El proceso de la investigación científica (4ª)*. México: Editores LIMUSA.
- Tamayo y Tamayo, M. (2009). *El Proceso de la Investigación Científica (4ª. ed.)*. Limusa Mexico.
- Tassoni, D., & Pizzella, G. (2006). *Elementos de Máquina*. Ediciones Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Venezuela (Figura 2, 3, 4, 6).
- Tesisdeinvestig (2014). Tesis de Investigación, Técnicas de Análisis de Datos. Ejemplo. Recuperado el 22 de junio de 2014, de <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2014/06/tecnicas-de-analisis-de-datos-ejemplo.html>
- The American Society of Mechanical Engineers. (2018). *ASME Y14.5 - 2018: Dimensioning and Tolerancing*. Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990.
- UPEL (2010). *Manual de trabajos de grado*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Caracas, Venezuela.
- UPEL. (1998). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales (2da. edic)*. Caracas: FEDEUPEL.

Wikipedia La enciclopedia libre (2021). Banco de pruebas. Recuperado el 16 de agosto de 2021, de: https://es.wikipedia.org/wiki/Banco_de_pruebas

Wikipedia, La enciclopedia libre (2022). Repuesto. Recuperado el 8 de noviembre de 2022, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Repuesto#:~:text=Un%20recambio%2C%20repuesto%20o%20refacci%C3%B3n,sufrido%20deterioro%20o%20una%20aver%C3%ADa>.

Wikipedia, La enciclopedia libre (2023). Mantenimiento. Recuperado el 16 de febrero de 2023, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento>

Wikipedia, La enciclopedia libre (2023). Neumático. Recuperado el 22 de julio de 2023, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico>

APÉNDICES

APÉNDICE A.1



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUÍA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario

Nº	Guion de entrevista
1	De acuerdo a su experiencia ¿Con qué frecuencia se le hace chequeo a un sistema de suspensión de su vehículo?
2	Desde su óptica ¿Cómo se puede realizar una simulación efectiva de las condiciones de conducción realistas en un banco de prueba de suspensión?
3	En su opinión ¿Cómo debe ser el diseño del banco de pruebas de suspensión para asegurarse de que sea adaptable a diferentes tipos de vehículos y suspensiones?
4	Desde su punto de vista ¿Cuáles son las características que lo hace adquirir este banco de pruebas de suspensión?
5	Desde su experiencia ¿Cuáles son las situaciones que cree usted que produce que el sistema de suspensión se deteriore?
6	De acuerdo a su experiencia ¿Cómo percibe usted que pudiera chequear el funcionamiento del sistema de suspensión de un vehículo?
7	Tomando en cuenta su experiencia, ¿Cuáles considera usted que son las ventajas y desventajas en el diseño de banco de pruebas para resolver los inconvenientes con los sistemas de suspensión?
8	De acuerdo a su conocimiento ¿Cuáles serían las variables para el diseño de un banco de pruebas para chequear el funcionamiento de suspensión de un vehículo?

APÉNDICE A.2



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CUADRO TÉCNICO METODOLÓGICO

OBJETIVO GENERAL: Diseñar y construir un banco de pruebas para suspensión de vehículos automotores ligeros

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Identificar las señales de problemas en el sistema de suspensión para la comprobación visual del funcionamiento de la suspensión del vehículo	Estudio del sistema de suspensión del vehículo	Personal capacitado	Frecuencia y percepción visual del chequeo	1, 6	<p style="text-align: center;"><i>Técnica:</i> Entrevista</p> <p style="text-align: center;"><i>Instrumento:</i> Guion de entrevista</p>
			Versatilidad y simulación efectiva	2, 3	
	Gestión integral	Cuidados del sistema	Situación de deterioro	5	
		Selección y diseño	Factibilidad del diseño	7, 4	
			Variables del diseño	8	

APÉNDICE A.3



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): FREDY BARRAGÁN

Seguidamente se le presenta un guion de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos van a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: Identificar señales de problemas en el sistema de suspensión, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industrial y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guion de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Miranda, José

C.I.: 30.006.470

Giacobbe, Fabrizio

C.I.: 27.536.103

TUTOR (A):

Ing. Pizzella Pierro,

Giovanni

C.I.: 4.455.859

APÉNDICE A.4



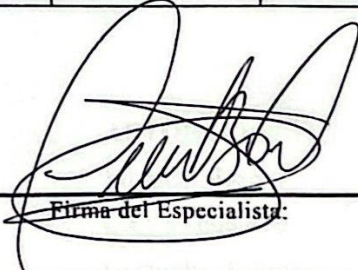
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
 UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		

Fecha: 13/10/2023


 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	ING. MECÁNICO ESP. EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL MSc. EN MANUFACTURA Y MATERIALES Dr. en EDUCACIÓN
--	--

APÉNDICE A.5



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): *Andira Rodríguez*

Seguidamente se le presenta un guion de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos van a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: Identificar señales de problemas en el sistema de suspensión, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industrial y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guion de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Miranda, José

C.I.: 30.006.470

Giacobbe, Fabrizio

C.I.: 27.536.103

TUTOR (A).

Ing. Pizzella Pierro,

Giovanni

C.I.: 4.455.859

APÉNDICE A.6




**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8	✓			✓		

Fecha: 13 /10/2023


 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Mecánico Dsa. en Ciencias de la Educación
--	--

APÉNDICE A.7



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTIMADO PROFESOR (A):

Wilmar Sanz

Seguidamente se le presenta un guion de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos van a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: Identificar señales de problemas en el sistema de suspensión, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industrial y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guion de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Miranda, José

C.I.: 30.006.470

Giacobbe, Fabrizio

C.I.: 27.536.103

TUTOR (A).

Ing. Pizzella Pierro,

Giovanni

C.I.: 4.455.859

APÉNDICE A.8



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUION DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	/			/		
2	/			/		
3	/			/		
4	/			/		
5	/			/		
6	/			/		
7	/			/		
8	/			/		

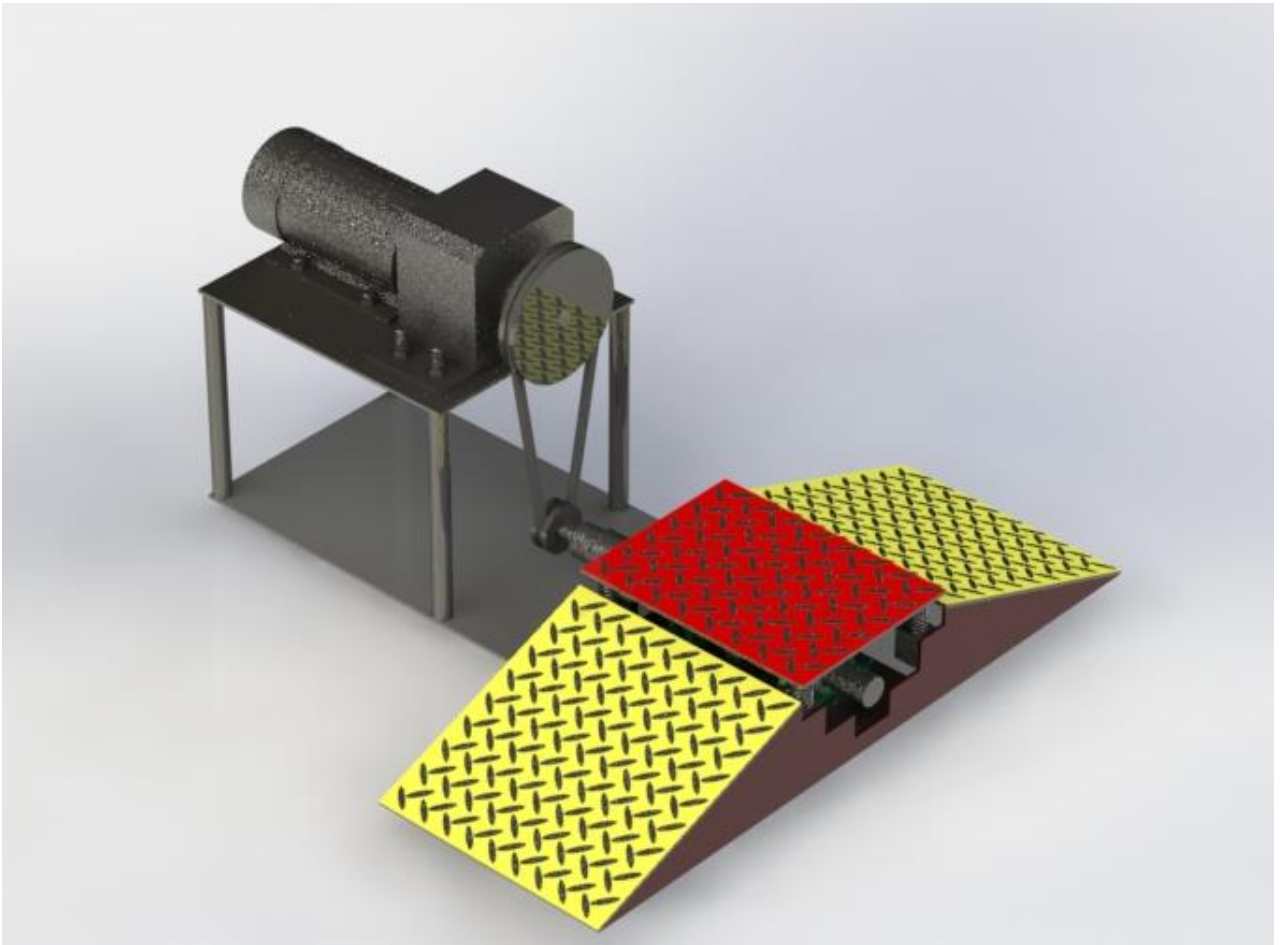


Firma del Especialista:

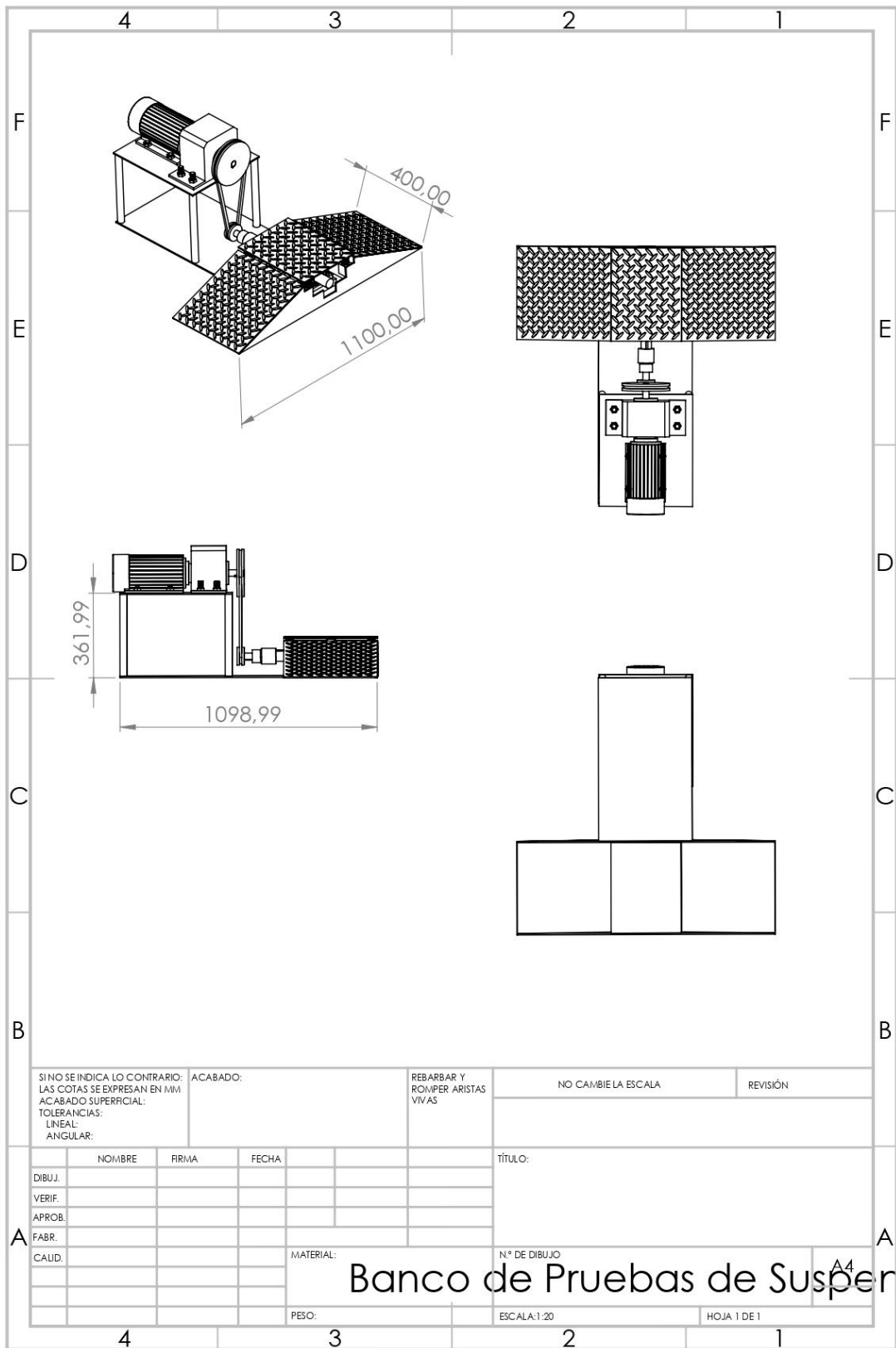
Fecha: 13 / 11 / 2023

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	<p><i>Ing. Electricista</i> <i>Especialista en Docencia para la Educación Superior</i> <i>Magister Scientiarum en Instrumentación</i></p>
--	---

APÉNDICE A.9



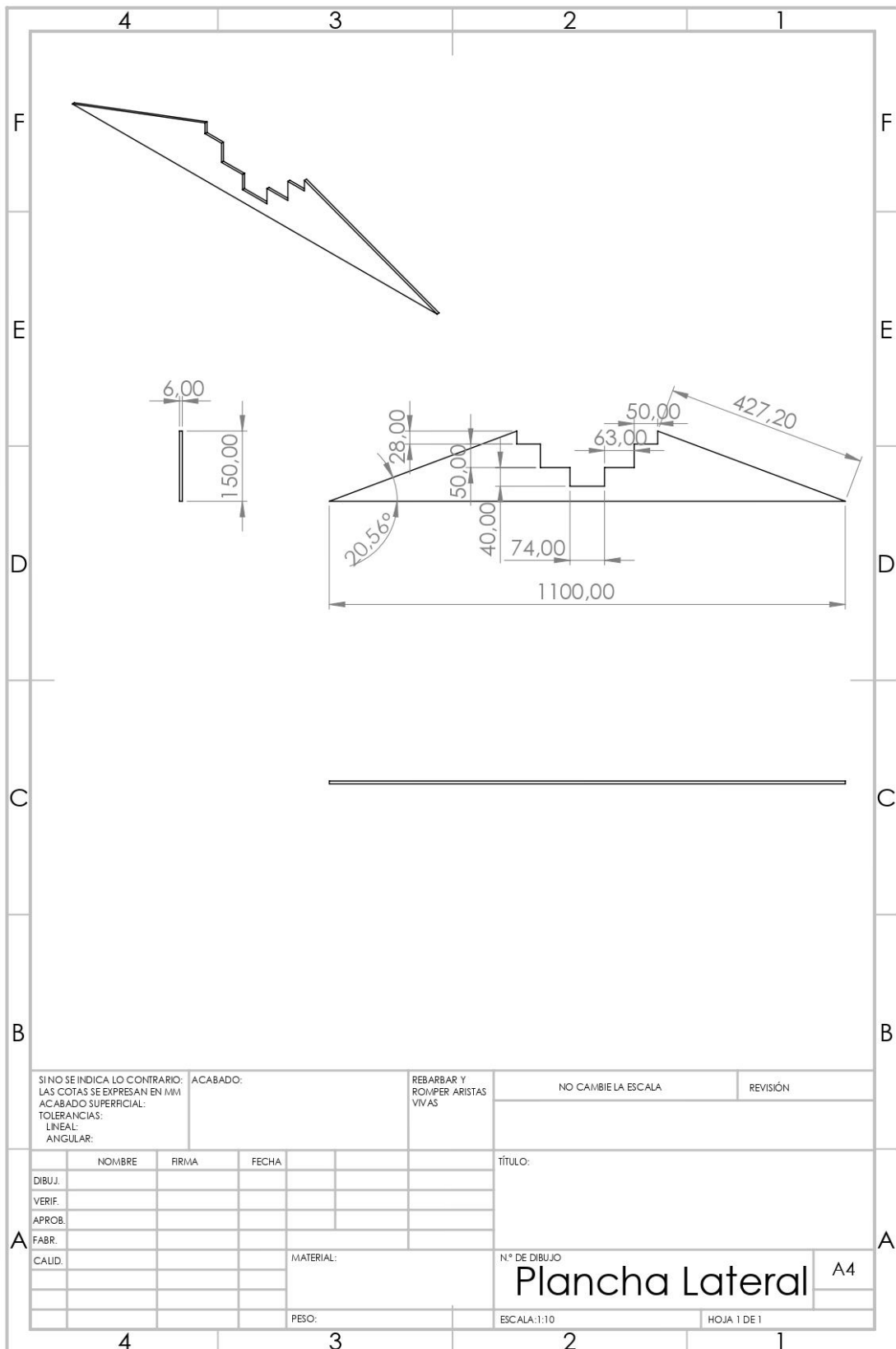
APÉNDICE 4.10



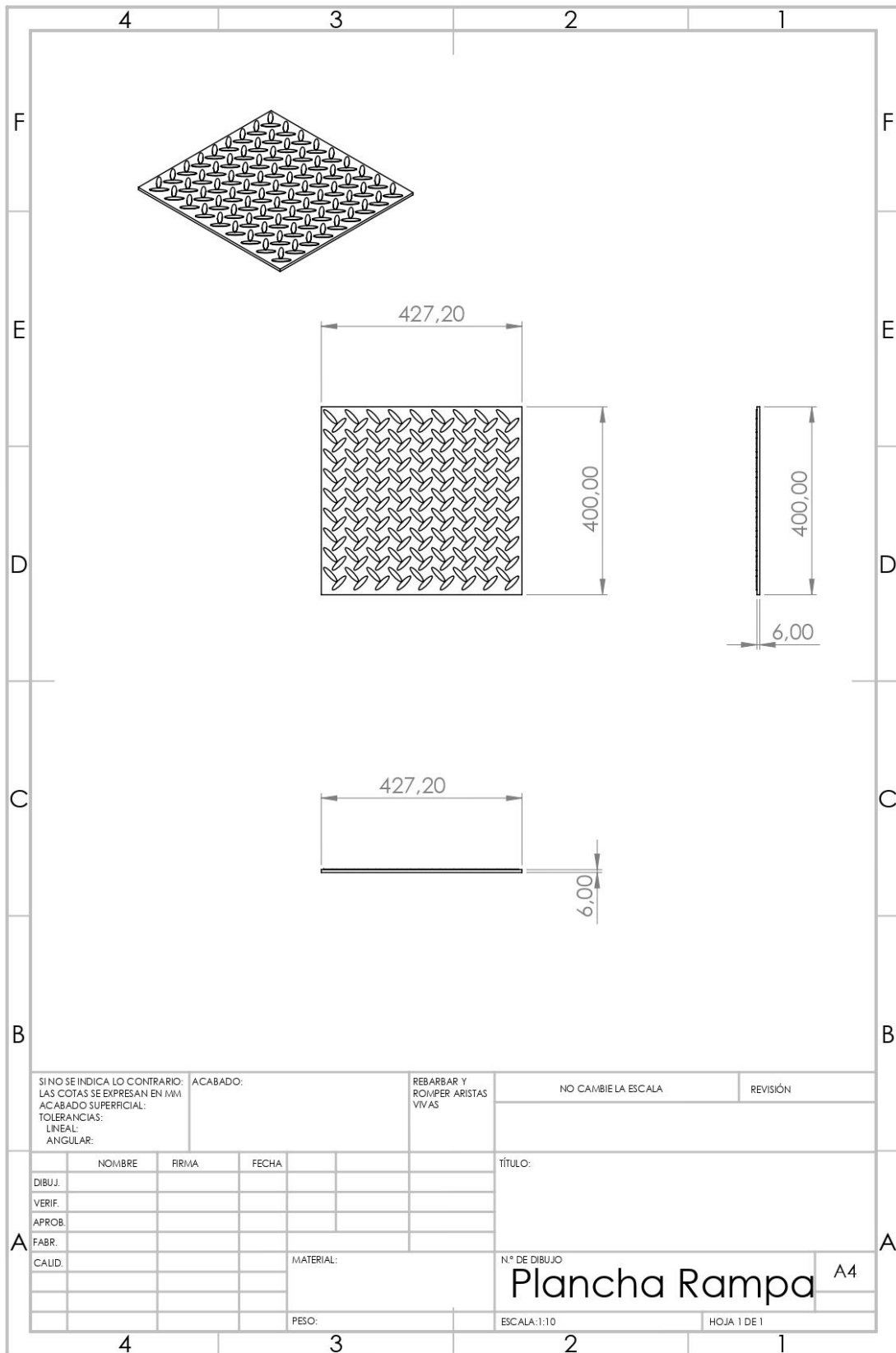
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:			
VERIF.						N° DE DIBUJO			
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL:		ESCALA: 1:20		HOJA 1 DE 1	
				PESO:					

Banco de Pruebas de Suspensi A4

APÉNDICE A.11

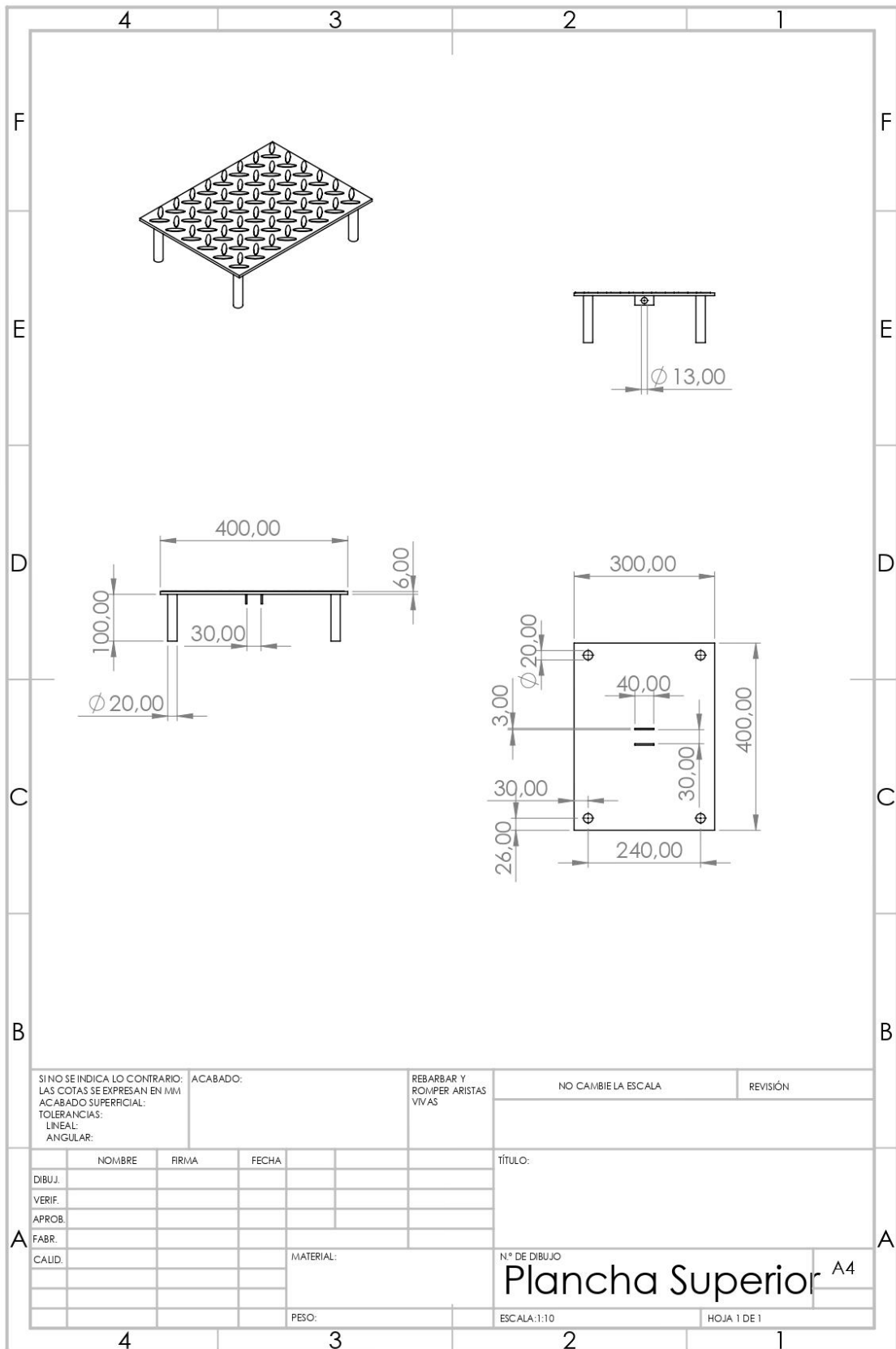


APÉNDICE A.13

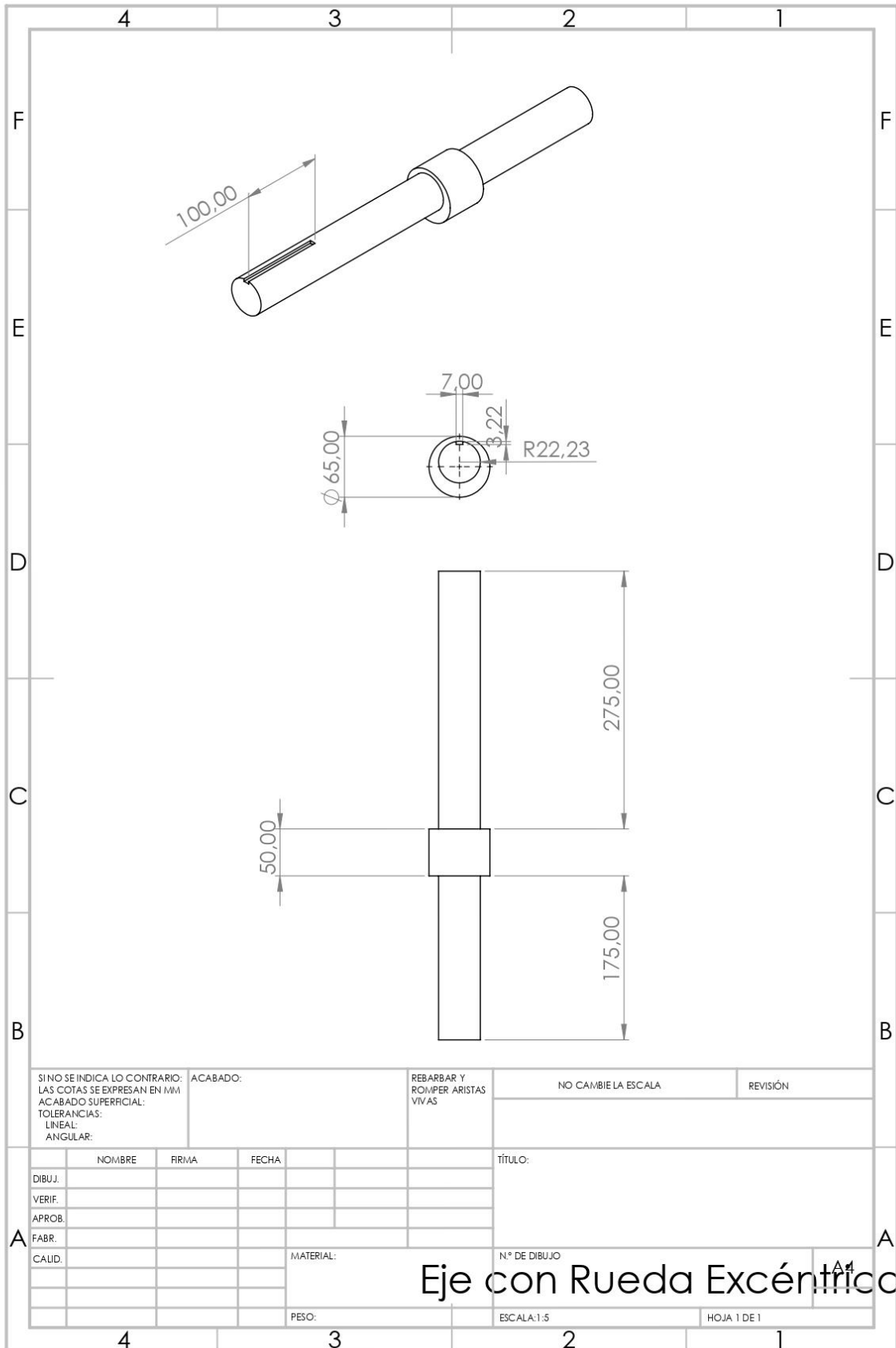


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:		TOLERANCIAS:		LINEAL:		ANGULAR:		TÍTULO:	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA						
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N° DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	
4		3		2		1			

APÉNDICE A.14



APÉNDICE A.15



APÉNDICE A.17

